

Emeliina Kortnesniemi

VÄYLÄLINJAUSTEN OPTIMOINTIIN TARKOITETUN OHJELMISTON HYÖDYNTÄMINEN SUOMESSA

Rakennetun ympäristön tiedekunta
Diplomityö
Toukokuu 2019

TIIVISTELMÄ

Emeliina Kortnesniemi: Väylälinjausten optimointiin tarkoitetun ohjelmiston hyödyntäminen Suomessa
Diplomityö
Tampereen yliopisto
Rakennustekniikan diplomi-insinöörin tutkinto-ohjelma
Toukokuu 2019

Väylien suunnittelua tehdään nykyisin yhä enemmän mallintamalla. Kuitenkaan väylälinjauksia ei vielä kaikissa hankkeissa mallinneta alusta alkaen. Tietomallintaminen mahdollistaa vaihtoehtojen vertailun aikaisessa vaiheessa hanketta, jolloin väylähankkeen kustannuksiin pystytään vaikuttamaan paremmin. Väylälinjausten optimointiin soveltuvilla ohjelmistoilla voidaan etsiä mahdollisimman kustannustehokkaita ratkaisuita varhaisessa vaiheessa hanketta sekä tehdä vaihtoehtojen vertailua. Väylälinjausten optimointiohjelmistoista työssä on keskitytty erityisesti Trimble Quantm -ohjelmistoon. Quantmia on hyödynnetty useissa hankkeissa maailmalla, mutta Suomessa sitä on käytetty vasta alkuvuonna 2018 toteutetussa pilottiprojektissa. Pilottiprojektin tulokset antoivat epäilyn aiheita Quantmin soveltumisesta Suomeen. Tämän työn tarkoituksena oli selvittää Quantmin hyödyntämistä Suomessa.

Työssä on ensin selvitetty teiden ja ratojen suunnittelua Suomessa sekä siihen vaikuttavia tekijöitä. Tämän jälkeen tutkimuksessa perehdyttiin Trimble Quantmiin sekä selvitettiin muita väylälinjausten optimointiin soveltuvia ohjelmistoja. Tutkimuksen aikana löydettiin kaksi muuta optimointiohjelmistoa, joita ovat Autodesk InfraWorks ja Softree Optimal. Näiden ominaisuuksia vertailtiin Trimble Quantmin kanssa. Trimble Quantmin hyödyntämistä tutkittiin referenssikohteiden avulla. Referenssikohteissa keskityttiin erityisesti pohjoismaissa toteutettuihin hankkeisiin, mutta myös muissa maissa toteutettuja hankkeita tarkasteltiin. Trimble Quantmin hyödyntämistä Suomessa tarkasteltiin lisäksi diplomityötä varten tehdyn case-tutkimuksen avulla.

Tutkimus toteutettiin laadullisin keinoin. Kirjallisuustutkimuksessa selvitettiin teiden ja ratojen suunnittelua Suomessa ja siihen vaikuttavia tekijöitä. Kirjallisuustutkimuksen avulla tutkittiin myös linjausten optimointiin soveltuvia ohjelmistoja, referenssikohteita ja hyödyntämismahdollisuuksia. Haastattelututkimusta varten haastateltiin kuutta alan ammattilaista. Näistä 2 oli suunnittelijapuolelta, 2 tilaajapuolelta ja 2 Trimbleltä. Haastattelututkimuksen tuloksia ei esitetä erillisessä luvussa vaan niitä käsitellään läpi työn. Haastattelututkimuksen avulla saatiin vastauksia niin teiden ja ratojen suunnitteluun, linjausten optimointiin soveltuviin ohjelmistoihin, referenssikohteisiin sekä hyödyntämismahdollisuuksiin liittyen. Case-tutkimuksessa toteutettiin optimointi valtatie 7 linjaukselle Haminan ja Vaalimaan väliselle osuudelle. Case-tutkimuksessa optimointiin neljä vaihtoehtoa maastokäytävää tieosuudelle sekä vertailtiin näitä yleissuunnitelmasta saatuihin vaihtoehtoihin. Optimoinnin lähtötietona käytettiin pääasiassa avoimesta datasta saatuja lähtöaineistoja. Työssä tarkasteltuihin ohjelmistoihin perehdyttiin kirjallisuus- ja haastattelututkimuksen lisäksi itse ohjelmistoja kokeilemalla ja harjoittelemalla.

Tutkimuksen johtopäätelmänä saatiin, että väylälinjausten optimointiohjelmistolla on mahdollista tehostaa suunnittelua nykyisestä. Trimble Quantmin avulla saadaan tuotettua useita vaihtoehtoisia väylälinjauksia perinteisiä menetelmiä nopeammin, jolloin suunnitteluun kuluva aika vähenee. Lisäksi Trimble Quantmia hyödyntämällä huomioidaan luontonäkökohdat ja taataan kattavat perustelut valituista vaihtoehtoista. Trimble Quantmissa on myös potentiaalia kustannusten minimoimiseen. Trimble Quantmia pystytään hyödyntämään osittain suunnittelussa nykytilassa. Kuitenkin ehdotettujen kehitystoimenpiteiden toteuttamisen jälkeen Quantmia pystytään hyödyntämään Suomessa paremmin.

Avainsanat: tie, rata, suunnittelu, väylälinjaus, ohjelmisto, optimointi, Quantm

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck –ohjelmalla.

ABSTRACT

Emeliina Kortensniemi: Usage of the alignment planning software in Finland
Master of Science Thesis
Tampere University
Master's Degree Programme in Civil Engineering
May 2019

Nowadays, the design of fairways is increasingly made with the help of modeling. However, modeling is not used in all alignment projects from the beginning. Data modeling enables comparisons between different options at an early stage of the project. By this way the fairway project can be made less expensive. An alignment planning software can find the most cost-effective solutions at an early stage of the project and make a comparison between different alternatives. This thesis focuses on Trimble Quantm software. The Trimble Quantm software has been used in many projects around the world. In Finland it has only been used in a pilot project in early 2018. The results of the pilot project questioned the applicability of the Trimble Quantm software in Finland. The purpose of this thesis was to research how the Trimble Quantm software could be utilized in Finland.

The beginning of the thesis clarifies the planning of roads and railways in Finland and factors affecting it. After that, the Trimble Quantm was familiarized and other softwares suitable for alignment planning were searched. During the research, two other alignment planning softwares were found. These two are Autodesk InfraWorks and Softree Optimal. The features of these softwares were compared with the Trimble Quantm. The utilization of the Trimble Quantm was investigated with reference projects. The reference projects focused in the Nordic countries, but projects from other countries were also examined. In addition, the utilization of the Trimble Quantm in Finland was investigated by a case study made for this thesis.

The research was implemented by qualitative means. Literature research explored the planning of roads and railways in Finland and the factors affecting it. The literature research also investigated alignment planning softwares, reference projects and utilization possibilities. Six industry professionals were interviewed for interview study. Two of them were designers, two were project buyers and two from Trimble. The results of the interview study are not presented in a separate chapter but are dealt through the work. The interview study provided answers for road and railway design, alignment planning softwares, reference projects and utilization possibilities. The case study examined an optimization of the highway 7 between Hamina and Vaalimaa. In the case study, four alternative road corridors were optimized with the Trimble Quantm. These alternatives were compared with the options in the general plan. Source information for the optimization was mainly based on the open source data. In addition to the literature and the interview research, the softwares were examined by practicing and experimenting with each software.

The conclusion of the study was that an alignment planning software may be used to improve the planning process from its current state. The Trimble Quantm enables to generate multiple alignment alternatives faster than it is possible by traditional methods, this reduces the time needed for the planning. In addition, the utilization of the Trimble Quantm takes the nature aspects into account and provides comprehensive reasonings for the selected options. The Trimble Quantm also has the potential to minimize expenses. The Trimble Quantm can be partly utilized in the alignment planning at the current state. However, after the proposed development measures has been taken, the Trimble Quantm can be better utilized in Finland.

Keywords: railway, road, alignment, planning, optimizing, software, Quantm

The originality of this thesis has been checked using the Turnitin OriginalityCheck service.

ALKUSANAT

Työn tekeminen oli todella mielenkiintoista ja opettavaista. Työtä tehdessä opin paljon uutta teiden ja ratojen suunnittelusta, mutta myös useiden itselleni uusien ohjelmistojen käytöstä. Työn aiheen löytymisestä haluan kiittää Civilpoint Oy:n Timo Ruohoa ja Mia Rantakaria. Lisäksi iso kiitos Civilpoint Oy:lle työn mahdollistamisesta.

Työn tekemiseen sain paljon arvokkaita neuvoja ja ohjeita eri tahoilta. Näistä haluan kiittää erityisesti kaikkia Civilpoint Oy:n työntekijöitä, jotka ovat antaneet työn tekemisen aikana apua ja tukea. Erityiskiitokset Civilpoint Oy:n Simo Vänskälle, jolta sain korvaamatonta apua Autodeskin ohjelmistojen käyttöön liittyen. Kiitos myös työn alkuvaiheessa mukana olleelle ohjaajalleni Martin Krizille Civilpoint Oy:ltä, joka on jo siirtynyt toisiin työtehtäviin. Työn tarkastajia, Tampereen yliopiston Heikki Liimataista ja Kalle Vaismaata, kiitän hyvistä kommentteista ja huomioista. Etenkin työn päätarkastajalta Heikki Liimataiselta sain useita hyviä ja tarkkoja havaintoja, jotka haastoivat omat ajattelutavat ja auttoivat parempaan lopputulokseen. Kiitos myös Civilpoint Oy:n Timo Ruoholle ja Tuomas Hörkölle työn aikaisista kommentteista. Lisäksi iso kiitos kaikille haastatteluihin osallistuneille, joilta sain arvokkaita ajatuksia työn teemoihin liittyen!

Lopuksi kiitän lähimmäisiäni kaikesta tuesta ja ymmärryksestä, jota olen prosessin aikana saanut. Erityisesti haluan kiittää Joelia, että hän on jaksanut kannustaa myös vaikeimmilla hetkillä.

Tampereella, 12.5.2019

Emeliina Kortesiemi

SISÄLLYSLUETTELO

1.	JOHDANTO	7
1.1	Tausta	7
1.2	Tavoitteet, rakenne ja rajaus.....	7
1.3	Tutkimusmenetelmät ja -aineistot	9
2.	TEIDEN JA RATOJEN SUUNNITTELU SUOMESSA	12
2.1	Megatrendit ja tulevaisuuden näkymät	12
2.2	Lähtökohdat.....	14
2.3	Suunnitteluvaiheet.....	15
2.3.1	Esisuunnittelu ja tarveselvitys.....	16
2.3.2	Yleissuunnittelu	17
2.3.3	Tie- ja ratasuunnittelu	17
2.3.4	Rakennussuunnittelu	18
2.4	Kustannushallinta	18
2.5	Infran tietomallinnus	20
2.6	Lähtötiedot ja niiden hankinta.....	23
2.7	Vaihtoehtojen muodostaminen ja vertailu.....	24
2.7.1	Periaatteet.....	24
2.7.2	Geometrian suunnittelu ja poikkileikkaukset.....	25
2.8	Päätelmät teiden ja ratojen suunnittelusta	29
3.	LINJAUSTEN OPTIMOINTIIN SOVELTUVAT OHJELMISTOT.....	33
3.1	Teiden ja ratojen suunnitteluohjelmistot	33
3.1.1	Trimble Novapoint.....	33
3.1.2	Tekla Civil.....	34
3.1.3	Bentley OpenRail Designer ja Bentley OpenRoads Designer	34
3.2	Trimble Quantm	35
3.2.1	Lähtötiedot	35
3.2.2	Linjausten optimointi	38
3.2.3	Tulosten tarkastelu ja vertailu	40
3.2.4	Aineiston hyödyntäminen jatkosuunnittelussa.....	43
3.3	Autodesk InfraWorks	43
3.4	Softree Optimal	45
3.5	Ohjelmistojen ominaisuuksien vertailu ja päätelmät	47
4.	REFERENSSIKOhteet.....	51
4.1	Kohteita pohjoismaissa	51
4.1.1	Tie 56, Ruotsi.....	51
4.1.2	Tie 77, Ruotsi.....	53
4.1.3	Tie 168, Ruotsi.....	53
4.1.4	Tie E18, Norja.....	54
4.2	Muita referenssikohteita.....	55
4.3	Päätelmät referenssikohteista	58

5.	CASE: VALTATIE 7 LINJAUKSEN OPTIMOIMINEN VÄLILLÄ HAMINA - VAALIMAA	59
5.1	Työn kuvaus	60
5.2	Lähtöaineistojen vertailu	63
5.3	Vaihtoehtojen vertailu	66
5.4	Päätelmät optimoinnista	69
6.	ARVIO HYÖDYNTÄMISMAHDOLLISUUKSISTA	71
6.1	Soveltuminen hyödynnettäväksi Suomessa	71
6.2	Kehityskohteet ja -ehdotukset	74
6.3	Pohdintaa tulevaisuudennäkymistä	79
7.	YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET	81
7.1	Johtopäätökset ja toimenpidesuosituksset	81
7.2	Tutkimuksen arviointi	84
7.3	Jatkotutkimusehdotukset	86
	LÄHTEET	87

LIITE A: HAASTATTELUPOHJA

LIITE B: AVOIMESTA DATASTA SAATAVILLA OLEVIA LÄHTÖTIETOJA

LYHENTEET JA MERKINNÄT

ELY-keskus	Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus
GTK	Geologian tutkimuskeskus
GPS	engl. Global Positioning Systems, maailmanlaajuinen paikallistamisjärjestelmä
Ihku-allianssi	Infrahankkeiden kustannuslaskentajärjestelmä ja -palveluallianssi
MML	Maanmittauslaitos
SYKE	Suomen ympäristökeskus
WMS	engl. Web Map Service, paikkatietoaineiston karttakuvana palauttava rajapintapalvelu
WMTS	engl. Web Map Tile Service, paikkatietoaineiston karttakuvana palauttava rajapintapalvelu
WFS	engl. Web Feature Service, rajapintapalvelu paikkatietokohteiden etsintään, kyselyyn ja muokkaamiseen
YVA	Ympäristövaikutusten arviointi
A	klotoidin parametri
L	pituus
R	kaarresäde
v	mitoitusnopeus

1. JOHDANTO

1.1 Tausta

Väylien suunnittelua tehdään nykyisin yhä enemmän mallintamalla. Kuitenkaan väylälinjauksia ei vielä kaikissa hankkeissa mallinneta alusta alkaen. Heilän (2017) mukaan tietomallintamisen avulla voidaan vaihtoehtoja vertailla helpommin keskenään. Väylähankkeen kustannuksiin ja siitä saavutettaviin hyötyihin vaikutetaan hankesuunnittelu- vaiheessa toteutustavan ja väylälinjauksen valinnalla. Maastokäytävän valinnan jälkeen kokonaiskustannuksiin pystytään vaikuttamaan suunnitteluratkaisuilla rajallisemmin. (Heilä 2017) Väylälinjausten optimointiin soveltuvilla ohjelmistoilla voidaan tehdä vaihtoehtojen vertailua, mutta myös etsiä mahdollisimman kustannustehokkaita ratkaisuita varhaisessa vaiheessa.

Trimble Quantm on ohjelmisto linjausvaihtoehtojen optimointiin (Civilpoint 2017; Trimble 2018d). Quantm soveltuu parhaiten hankkeen alkuun (Civilpoint 2017), ja sillä voidaan optimoida kerralla useita linjauksia (Trimble 2019b). Optimoituja linjauksia voidaan vertailla ohjelmistossa keskenään. Quantm -ohjelmistoa on käytetty useissa projekteissa maailmalla, mutta Suomessa sitä on käytetty vasta pilottiprojektissa.

Pilottiprojekti toteutettiin alkuvuodesta 2018. Pilottiprojektissa pyrittiin löytämään Trimble Quantm -ohjelmistoa hyödyntäen laskennallinen optimigeometria Jokelantien ja Vähänummentien liittymästä Hämeentielle. Kyseessä on noin seitsemän kilometrin mittainen tieosuus. Laskennallisesti saatuja tuloksia verrattiin perinteisellä suunnittelulla saatuihin tuloksiin. Pilottiprojektissa saatiin ohjelmistoa käyttäen pitkälti samankaltaisia linjausvaihtoehtoja kuin mitä asiantuntija-arvioiden perusteella oli saatu. (Tuohilampi 2018) Pilottiprojektissa ilmeni ohjelmiston osalta erilaisia kehityskohteita. Näiden takia ohjelmiston soveltumista Suomeen on epäilty. Tämän työn tarkoituksena on tutkia tarkemmin Quantmin soveltumista hyödynnettäväksi Suomessa.

1.2 Tavoitteet, rakenne ja rajaus

Diplomityön tavoitteena on selvittää Trimble Quantmin hyödynnettävyyttä teiden ja ratojen suunnitteluun Suomessa nykytilassa. Työssä selvitetään lähtötilannetta, haasteita ja tarpeita nykyhetkellä sekä tulevaisuutta ajatellen. Työssä on tarkoitus selvittää niitä kehittämistoimenpiteitä, joilla ohjelmisto soveltuisi teiden ja ratojen suunnitteluun paremmin. Ohjelmiston hyödyntämistä ja kehitystoimenpiteitä tutkitaan kirjallisuusselvityksen, haastatteluiden ja case-tutkimuksen avulla. Työssä selvitetään referenssikohteita tutkimalla Quantmin hyödyntämismahdollisuuksia ja käyttökohteita muissa maissa. Työssä tutustutaan muihin ohjelmistoihin ja selvitetään sitä kautta, olisiko vastaavalle

ohjelmistolle Suomessa tarvetta. Hyödyntämismahdollisuuksia ja kehitystarpeita raportoidaan tämän työn avulla.

Työn päätutkimuskysymys on:

- Miten Trimble Quantm soveltuu hyödynnettäväksi väylälinjausten suunnitteluun Suomessa?

Päätutkimusta täydentäviä alakysymyksiä ovat:

1. Miten teiden ja ratojen suunnittelua tehdään Suomessa ja mitkä asiat siihen vaikuttavat?
2. Onko olemassa muita ohjelmistoja väylälinjausten optimointiin? Jos on, mitkä niiden eroavaisuudet ovat Quantmiin verrattuna?
3. Millaisissa hankkeissa Quantmia on käytetty maailmalla ja millaisia lopputuloksia hankkeista on saatu?
4. Miten Quantm soveltuu suunnitteluun nykytilassa ja mitkä ovat sen tärkeimmät kehityskohteet?

Työ jakautuu seitsemään lukuun. Ensimmäiseen alakysymykseen pyritään saamaan vastaus luvussa 2. Luvussa 2 tutkitaan, miten teiden ja ratojen suunnittelua tehdään Suomessa ja mitkä tekijät siihen vaikuttavat. Suunnittelua ja siihen vaikuttavia tekijöitä kuvataan yleisellä tasolla. Ensin syvennytään teiden ja ratojen vaikuttaviin megatrendeihin ja tulevaisuuden näkymiin. Tämän jälkeen perehdytään suunnittelun lähtökohtiin, suunnitteluvaiheisiin, kustannushallintaan, tietomallinnukseen, lähtötietoihin, vaihtoehtojen muodostamiseen sekä geometrian suunnitteluun ja poikkileikkauksiin. Lopuksi saadut tulokset kootaan yhteen päätelmien avulla.

Luvussa 3 vastataan toiseen alakysymykseen. Luvussa 3 perehdytään tarkemmin linjausten optimointiin soveltuviin ohjelmistoihin. Ensin selvitetään, onko varsinaisissa teiden ja ratojen suunnitteluohjelmistoissa toimintoja linjauksen optimointiin. Tämän jälkeen syvennytään Trimble Quantmin sekä muiden väylälinjausten optimointiin soveltuvien ohjelmistojen toiminnallisuuksiin. Muista ohjelmistoista tarkastellaan Autodesk InfraWorks ja Softree Optimal -ohjelmistoja. Lopuksi vertaillaan väylälinjausten optimointiohjelmistojen ominaisuuksia keskenään sekä kootaan tulokset yhteen päätelmien avulla.

Luvussa 4 pyritään vastaamaan neljänteen alakysymykseen perehtymällä erilaisiin referenssikohteisiin. Luvussa pääpiste on pohjoismaisissa kohteissa. Lisäksi tehdään lyhyt katsaus muiden maiden referenssikohteista. Luvun lopuksi esitetään päätelmät referenssikohteista.

Luvussa 5 selvitetään ohjelmiston soveltumista Suomeen case-tutkimuksen avulla. Case-tutkimuksessa tehdään ohjelmistolla linjaus valtatie 7 Haminan ja Vaalimaan väliselle osuudelle. Luvussa kerrotaan työn kuvaus, vertaillaan työssä käytettyjä lähtöaineistoja

yleissuunnitelmassa käytettyihin lähtötietoihin ja vertaillaan saatuja vaihtoehtoja yleissuunnitelman vaihtoehtoihin. Lopuksi tulokset kootaan yhteen päätelmien avulla.

Luvussa 6 vastataan neljänteen alakysymykseen sekä otetaan kantaa päätutkimuskysymykseen. Ensin esitetään arvio ohjelmiston hyödynnettävyydestä Suomessa, sen jälkeen esitetään kehityskohteet- ja ehdotukset ja lopuksi pohditaan tulevaisuuden näkymiä. Luvussa 7 esitetään yhteenveto ja johtopäätökset työstä, arvioidaan tutkimusta sekä esitetään jatkotutkimustarpeita.

Tässä työssä käsitellään tie- ja ratasuunnittelua, eikä näin ollen oteta kantaa vesiväylien suunnitteluun. Teistä käsitellään ainoastaan maanteitä. Työssä tarkastellaan ohjelmiston soveltumista Suomeen, eikä muihin maihin soveltumista huomioida muuten kuin referenssikohteiden osalta.

1.3 Tutkimusmenetelmät ja -aineistot

Työssä käytetään kvalitatiivisia eli laadullisia tutkimusmenetelmiä. Laadullisella tutkimuksella tutkitaan yleensä ilmiöitä, joita ei tunneta hyvin (Järvenpää 2006). Laadullisessa tutkimuksessa ei yritetä tilastollisiin yleistyksiin vaan pyritään kuvaamaan tai ymmärtämään jotain tiettyä toimintaa tai ilmiötä (Alasuutari 2007; Tuomi & Sarajärvi 2017). Laadulliselle tutkimukselle ominaista on, että sillä argumentoidaan muilla kuin ainoastaan määrällisillä suhteilla (Alasuutari 2007). Työssä kerätään tietoa kirjallisuusselvityksen, haastattelututkimusten ja case-tutkimuksen avulla. Näiden tutkimusmenetelmien lisäksi työssä käsiteltäviä ohjelmistoja testattiin, jolloin niiden ominaisuuksista kerrotaan myös omakohtaisiin havaintoihin perustuen.

Kirjallisuusselvityksessä pyritään saamaan mahdollisimman laaja-alainen käsitys teiden ja ratojen suunnittelusta Suomessa sekä suunnitteluun vaikuttavista seikoista. Myös ohjelmistoihin ja referenssikohteisiin liittyviä asioita on tutkittu kirjallisuusselvityksellä. Kirjallisuusselvityksessä käytetään tiedonlähteenä erilaisia julkaisuita, artikkeleita ja internetsivuja. Suunnitteluun ja siihen liittyvissä seikoissa on käytetty tietolähteenä ensisijaisesti tieteellisiä julkaisuita. Ohjelmistoista tai referenssikohteista ei löytynyt paljoa tieteellisiä julkaisuita, joten tiedonlähteenä käytettiin näissä pääasiassa ohjelmistoalan yritysten artikkeleita, internetsivuja ja omia julkaisuja.

Kirjallisuusselvitykseen aineistoja kerättiin erilaisin menetelmin. Väylän (entisen Liikenneviraston) sivuilta etsittiin työhön liittyviä suunnitteluohjeita sekä tietoa suunnittelusta ja siihen vaikuttavista tekijöistä. Lakiin liittyviä asioita etsittiin lähinnä Finlexistä. Tutkimusta varten Civilpointilta saatiin ohjelmistoihin liittyviä aineistoja. Lisäksi erilaisia hakukoneita hyödynnettiin aineistojen hakemisessa. Aineistoja etsittiin Google Scholaria, Andoria ja Scopusta käyttämällä. Lisäksi esimerkiksi erilaisten ohjelmistojen etsintään käytettiin Googlea. Kun sopivaa aineistoa löydettiin, etsittiin niistä viiteaineistoja, joista voisi olla hyötyä työssä. Näin löydettiinkin useita hyödyllisiä aineistoja. Haastatteluiden

yhteydessä on kysytty ja saatu vinkkejä käytettävistä aineistoista, etenkin suunnitteluohjeista.

Haastattelujen avulla pystytään tutkimaan ilmiöitä ja hakea vastauksia ongelmiin. Käytettäessä haastattelua tutkimusmenetelmänä on sen etuna joustavuus. Haastatteliija pystyy toistamaan kysymyksen, oikaisemaan väärinkäsityksiä ja käymään keskustelua haastattelutavan kanssa. Tällaista mahdollisuutta ei ole kyselyssä. Haastattelussa on tärkeintä saada mahdollisimman paljon tietoa tutkittavasta asiasta. (Tuomi & Sarajärvi 2017) Haastattelut toteutettiin pääasiassa kasvokkain. Yksi haastattelu toteutettiin videoyhteydellä ja kaksi sähköpostihaastatteluna. Haastattelut tuovat työhön paljon tärkeää sisältöä. Haastattelun tuloksia ei kuvata missään yksittäisessä luvussa vaan tuloksia esitetään kirjallisuustutkimuksen ja omien havaintojen kanssa limittäin tarjoten mahdollisimman kattava vuoropuhelu eri lähteiden välillä.

Haastattelutyypinä käytettiin teemahaastattelua. Teemahaastattelun hyvänä puolena on mahdollisuus tarkentaa ja syventää kysymyksiä vastauksesta riippuen (Tuomi & Sarajärvi 2017). Teemahaastatteluun valitaan tutkimusongelmasta keskeiset aiheet, joita on tärkeää käsitellä tutkimusongelmaan vastaamiseksi (Vilkka 2015; Tuomi & Sarajärvi 2017). Näin ollen teemahaastattelussa on määritetty aihepiirit ja teema-alueet ennalta (Järvenpää 2006; Vilkka 2015). Teemahaastattelussa edetään näiden ennalta määritettyihin teemoihin ja niihin liittyviin tarkentaviin kysymyksiin perustuen (Tuomi & Sarajärvi 2017). Haastateltavien kanssa voidaan käydä teemoja läpi eri laajuudessa ja järjestyksessä haastattelusta ja haastateltavasta riippuen. (Järvenpää 2006; Vilkka 2015) Tavoitteena on, että vastaaja voi antaa oman näkemyksen kaikista teemoista ja ne on käsitelty vastaajan kannalta luonnollisessa järjestyksessä (Vilkka 2015).

Laadullisessa tutkimuksessa on tärkeää, että haastateltavat henkilöt valitaan harkiten ja tarkoitukseen sopivasti. Henkilöillä tulee olla asiasta kokemusta tai heidän tulee tietää siitä muuten mahdollisimman paljon. (Järvenpää 2006; Vilkka 2015; Tuomi & Sarajärvi 2017) Tämän takia haastatteluihin valittiin tilaaja- ja suunnittelijapuolelta henkilöitä, jotka olivat mukana Nukari-Purola-pilottiprojektissa. Haastateltavat tuntevat hyvin suunnittelun ja siihen liittyvän prosessin, mutta heillä on myös jonkinlainen käsitys Trimble Quantmista. Lisäksi haastateltiin Trimble Quantmia edustavan ja kehittävän Trimblen asiantuntijoita. Näin ollen kaikilla haastateltavilla oli oma erityinen osaamisalueensa. Haastatteluihin osallistuneet henkilöt on lueteltu taulukossa 1.

Taulukko 1. Haastattelut henkilöt.

Haastateltava	Ajankohta	Tehtävänimike	Haastattelutapa
H1	28.9.2018	Technical Sales Engineer	Sähköposti
H2	3.7.2018	Apulaisjohtaja	Tapaaminen
H3	28.9.2018	Principal Engineering Construction Advisor	Sähköposti
H4	3.7.2018	Projektipäällikkö	Tapaaminen
H5	18.6.2018	Yksikönpäällikkö	Tapaaminen
H6	31.8.2018	Suunnittelija	Videoyhteys

Haastatteluissa ei varsinaisesti keskitytty yhteen tiettyyn osa-alueeseen tai teemaan vaan siinä käsiteltiin laaja-alaisesti kaikkiin alakysymyksiin liittyviä asioita. Haastatteluiden avulla pyrittiin selvittämään niin teiden ja ratojen suunnitteluprosessia sekä niihin vaikuttavia asioita, muita optimointiohjelmistoja, referenssikohteita, Quantmin soveltumista suunnitteluun kuin tärkeimpiä kehityskohteitakin. Haastatteluiden perustana käytettiin samaa haastattelupohjaa, mutta käsitellyt teemat ja osa-alueet vaihtelivat asiantuntijasta riippuen. Haastattelupohja on esitetty liitteessä A.

Kasvokkain ja videoyhteydellä toteutetuissa haastatteluissa keskustelut nauhoitettiin, jonka lisäksi kirjoitettiin samanaikaisesti muistiinpanoja. Haastattelut nauhoitettiin varatoimenpiteenä, jos keskusteluihin haluttaisiin palata myöhemmin. Aineiston tarkkuuden osalta riittäväksi tarkkuudeksi koettiin yleiskuvan ja mielipiteiden ymmärtäminen. Tämän takia ei ollut tarvetta varsinaiselle litteroinnille. Hyvärinen et al. (2017) mukaan asiantuntijahaastatteluissa pääpaino on sisällössä, jolloin yksityiskohtainen litterointi ei ole välttämätöntä. Sähköpostihaastattelut olivat jo valmiiksi dokumentoitavassa muodossa, joten niitä pystyttiin hyödyntämään sellaisenaan.

Case-tutkimusta on kritisoitu siksi, ettei sillä pystytä tuottamaan tilastollisia yleistysiksiä. Muutama tapaus ei nimittäin riitä tilastollisten yleistysten tekemiseen. Kuitenkaan tämä ei edes ole case-tutkimuksen tarkoitus. Case-tutkimuksen päätarkoituksena on tuottaa tutkittavien tapausten avulla yksityiskohtaista tietoa tutkittavasta aiheesta. Case-tutkimuksessa voidaan tutkia yhtä tai muutamaa tapausta. (Eriksson & Koistinen 2005)

Case-tutkimuksen tarkoituksena oli tapauskohtaisesti tutkia ohjelmiston hyödynnettävyyttä Suomessa. Case-tutkimuksessa tuotettiin Trimble Quantmilla yleissuunnitelma-vaihtoehdot yhdestä hankkeesta, josta on jo tuotettu yleissuunnitelma perinteisiä menetelmiä hyödyntäen. Hankkeeksi valikoitui valtatie 7 Haminan ja Vaalimaan välinen tieosuus. Tarkoituksena oli toteuttaa yhteysvälille linjausvaihtoehdot käyttäen mahdollisimman paljon samoja lähtötietoja kuin perinteisillä menetelmillä käyttäen. Lähtötietoina optimoinnissa käytettiin pääasiassa avoimesta datasta saatavia tietoja. Kun linjausvaihtoehdot oli tuotettu Quantmilla, verrattiin niitä alkuperäisen yleissuunnitelman vaihtoehtoihin. Optimoinnin ja vertailun toteutti diplomityöntekijä syksyllä 2018.

2. TEIDEN JA RATOJEN SUUNNITTELU SUOMESSA

2.1 Megatrendit ja tulevaisuuden näkymät

Merkittävimpiä liikenteeseen ja infrastruktuuriin vaikuttavia globaaleja megatrendejä ovat ilmastonmuutos, digitalisaatio, teknologinen kehitys ja kaupungistuminen. Tulevaisuuden liikennejärjestelmä on kokonaisuus, joka muodostuu palveluista, infrastruktuurista ja tiedosta. Teknologinen kehitys mahdollistaa esimerkiksi automaation ja robotisaation kehittymisen ja hyödyntämisen liikenteessä. Kaupungistuminen ja kestävien liikkumismuotojen edistäminen johtavat liikkumistarpeiden muutoksiin. Myös ilmastonmuutos ja ympäristönäkökohdat näkyvät liikenteessä esimerkiksi kasvihuonepäästöjen vähentämisellä. (Wihlman 2018) Megatrendejä tarkasteltaessa on kuitenkin hyvä huomioida, etteivät ne ole irrallisia ilmiöitä vaan kaikki niistä ovat vahvasti sidoksissa toisiinsa (Kiiski Kataja 2016). Kuvassa 1 esitetään globaalit megatrendit.



Kuva 1. Globaalit megatrendit (Wihlman 2018).

Ilmastonmuutoksen ja ympäristönäkökohtien korostuessa öljyn ja energian hinnat todennäköisesti kasvavat sekä niiden saatavuus tiukkenee. Aktiivisella vero- ja maksupolitiikalla hillitään öljyn ja energian kulutusta. (Liikennevirasto 2015b) Hintavaikutus ohjaa siirtymään autoilusta vähemmän luonnonvaroja kuluttaviin liikkumismuotoihin. Tämän seurauksena ratahankkeet tulevat todennäköisesti yleistymään (H5). Ympäristöön

liittyvien asioiden korostuessa ympäristövaikutusten arvioinnin (YVA) tärkeystaso todennäköisesti kasvaa ja menettelyä voidaan mahdollisesti kehittää (H4).

Ympäristönäkökohtien korostuessa liikenteen aiheuttamien päästöjen lisäksi myös väylähankkeiden rakentamisen ja materiaalien hiilidioksidipäästöihin voidaan alkaa kiinnittää enemmän huomiota. Liikenneviraston (2018) mukaan infrahankkeissa materiaalien päästöihin vaikutetaan tehokkaimmin vaihtoehtojen vertailulla päästöt huomioden. Päästöihin pystytään vaikuttamaan kustannustehokkaimmin hankkeen alkuvaiheessa. Liikenneviraston (2018) mukaan paras vaikutusmahdollisuus päästöihin onkin esisuunnittelu-, tarveselvitys-, yleissuunnittelu-, tiesuunnittelu- ja ratasuunnitteluvaiheissa.

Kaupungistuminen jatkuu myös tulevaisuudessa. Kasvualueet laajenevat maantieteellisesti väestön keskittyessä kasvaville kaupunkiseuduille ja kaupunkiseutujen välisille kasvukäytävillä. Tämä luo esimerkiksi liikennemuutosten kaltaisia haittoja. (Aho et al. 2017) Kaupungistumisen seurauksena siihen liittyvät hankkeet yleistyvät ja maankäyttöä tiivistetään entisestään (Liikennevirasto 2015b). Tämän takia esimerkiksi taajamia kiertäviä yhteyksiä voidaan toteuttaa enemmän (H5). Lisäksi etenkin suurien kaupunkien läheisyydessä teitä parannetaan (H4). Seurauksena voi olla, että entistä useammin hankkeet eivät sijaitse neitseellisessä maastossa (H5).

Teknologiaa kehitetään mahdollisesti kovempaan tahtiin kuin koskaan ennen (Kiiski Kataja 2016). Teknologinen kehitys näkyy erityisesti automatisaation ja robotisaation kehityksenä. Kehityksen myötä teknologinen kehitys voi muuttaa väyläsuunnittelua esimerkiksi kaistaleveyksien pienentymisellä ja kaarreleveyksien muuttumisella (Innamaa et al. 2015). Etenkin robotisaatio voi myös muuttaa tulevaisuudessa merkittävästi sitä, joka tällä hetkellä tunnetaan liikenteenä (Kiiski Kataja 2016). Digitalisaatio näkyy liikenteessä esimerkiksi liikkumisen palveluistumisella (Väylä 2019a). Teknologisen kehityksen ja digitalisaation saralla tapahtuu nopeasti muutoksia, joiden vaikutuksia liikenteeseen ja sitä kautta liikenneväylien tulevaisuuden vaatimuksille on vaikea arvioida. Tämä vaikeuttaa suunnittelua. (H2)

Teknologian kehitys vaikuttaa laajasti lähes kaikkiin aloihin ja toimintatapoihin. Koneilla on suuri etulyöntiasema ihmiseen verrattuna suurten datamäärien prosessoinnissa ja analysoinnissa. Monia ihmisen aiemmin tekemiä tehtäviä voidaankin automatisoida koneiden avulla. (Kiiski Kataja 2016) Näin suunnittelua saadaan tehostettua, kustannuksia laskettua ja virheiden todennäköisyyttä pienennettyä. Rutiininomaisia tehtäviä automatisoimalla vapautetaan enemmän aikaa kaikista tärkeimmille tehtäville. (Pirhonen 2019) Suunnittelussa voidaankin käyttää tulevaisuudessa entistä enemmän digitaalisia työkaluja (H5). Tulevaisuudessa tietomallintaminen yleistyy ja sen merkitys väylähankkeissa kasvaa (H4). Inframalliin voidaan jatkossa myös lisätä entistä enemmän ulottuvuuksia. (Kammardeen 2010) Tämä voi asettaa tulevaisuudessa uusia vaatimuksia suunnittelulle ja ohjelmistoille.

Teknologian kehityksestä ja digitalisoitumisesta huolimatta ei voida unohtaa perusinfrastruktuurin merkitystä ja kehittämistä (Kiiski Kataja 2016). Väylärakentamisen volyymit eivät todennäköisesti muutu merkittävästi nykyisestä (H4). Tulevaisuudessa kuitenkin todennäköisesti keskitytään entistä enemmän olemassa olevan väyläverkoston parantamiseen. Tämä korostuu etenkin tiehankkeissa. (H2; H4; H5; H6) Myös ratahankkeissa todennäköisesti keskitytään enemmän olemassa olevan rataverkoston kehittämiseen ja parantamiseen. Esimerkiksi voidaan kasvattaa raiteiden määrää tai nostaa nopeustasoa yhteysväleillä (WSP Finland 2017).

2.2 Lähtökohdat

Väylä huolehtii maanteiden ja rautateiden ylläpitämisestä. Maanteiden tienpidosta vastaa valtio. Maantieverkon ylläpitäjänä toimii Väylä, mutta Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskukset (ELY-keskus) vastaavat tienpidon tehtävistä alueellaan Väylän ohjauksen mukaisesti. Maanteiden suunnittelu, rakentaminen ja kunnossapito teetetään niitä tekevillä yrityksillä ELY-keskusten toimesta. Merkittävissä tiehankkeissa Väylä voi vastata yleis- ja tiesuunnitelman laatimisesta. Rautateiden suunnittelu, rakentaminen ja kunnossapito tilataan niitä tuottavilta yrityksiltä Väylän toimesta. (Väylä 2019d)

Liikenneväylien suuret valtakunnalliset kehittämishankkeet ohjelmoidaan keskitetysti. Suurien valtakunnallisten kehittämishankkeiden toteuttamisesta vastaa eduskunta. ELY-keskuksissa ohjelmoidaan muut tiehankkeet. Väylässä ohjelmoidaan kaikki ratahankkeet suuria valtakunnallisia hankkeita lukuun ottamatta. (Väylä 2019d)

Väylähankkeita ja väylien suunnittelua ohjaavat useat erilaiset lait ja asetukset. Näistä tärkeimpänä on maankäyttö- ja rakennuslaki (1999). Lailla ohjataan alueiden käyttöä, suunnittelua ja rakentamista. Maankäyttö- ja rakennuslain (1999) tavoitteena on järjestää alueiden käyttö ja rakentaminen siten, että hyvälle elinympäristölle luodaan edellytykset sekä kestävää kehitystä edistetään ekologisesti, taloudellisesti, sosiaalisesti ja kulttuurillisesti. Laissa määrätään esimerkiksi alueiden käytön suunnittelujärjestelmästä sekä katuihin ja muihin yleisiin alueisiin liittyvästä.

Maantielaki ja -asetus (2005) määrää maanteistä, maantienpidosta, tienpitäjän oikeuksista ja velvollisuuksista sekä kiinteistöjen omistajien ja muiden asianosaisten asemasta. Laissa määrätään myös maanteiden suunnittelusta sekä suunnitteluvaiheista ja niiden sisällöstä. Maantielain (2005) keskeisenä tarkoituksena on kehittää ja ylläpitää maantieyhteyksiä osana liikennejärjestelmää, jotka täyttävät liikkumis- ja kuljetustarpeiden vaatimukset, ja jotka ovat turvallisia ja kestävää kehitystä edistäviä.

Ratalain ja -asetuksen (2007) tavoitteena on kehittää ja ylläpitää henkilö- ja tavaraliikenteen vaatimia rautatieyhteyksiä osana liikennejärjestelmää niin, että ne ovat toimivia, turvallisia ja edistävät kestävää kehitystä. Lailla myös turvataan rautateiden ylläpitäminen,

kehittäminen ja rakentaminen eri alueita yhdistävänä liikennemuotona. Laissa määrätään rautatien suunnittelusta, suunnitteluvaiheista sekä suunnitteluvaiheiden sisällöstä.

Suunnittelutyön taustalla on aina liikenne- ja tieolosuhteiden sekä lähiympäristön olosuhteiden seuranta ja ennakointi. Ratahankkeiden suunnittelulla pyritään rataverkon kehittämiseen ja liikennöitävyyden ylläpitämiseen. (Väylä 2019c) Väylähankkeen avulla pyritään ratkaisemaan jokin havaittu ongelma. Suunnittelun tavoitteena on selvittää erilaisia vaihtoehtoja, niiden vaikutuksia ja vaikutusten painoarvoa. (H2) Ensisijaisena toimenpiteenä on aina olemassa olevan väylän parantaminen uuden tien tai rautatien rakentamisen sijasta (Väylä 2019d).

2.3 Suunnitteluvaiheet

Suunnittelu on vaiheittaista ja suunnittelun edetessä tarkentuvaa. Varsinaisia suunnitteluvaiheita ovat yleensä esiselvitys- tai tarveselvitys-, yleissuunnittelu-, tiesuunnittelu- tai ratasuunnittelu- ja rakennussuunnitteluvaiheet. (Ahtiainen et al. 2011) Kun suunnitellaan uutta väylää tai väylän parantamista, tulee sen perustua maankäyttö- ja rakennuslain mukaiseen kaavaan (Väylä 2019d). Maankäytön suunnittelua ja väyläsuunnittelua tehdäänkin yleensä samanaikaisesti (Priha et al. 2006). Väyläsuunnittelun vaiheiden suunnittelutarkkuudet ja päätöksenteko sovitetaan maankäytön suunnittelun kanssa yhteen (Väylä 2019c).

Väyläsuunnittelun tavoin myös maankäytön suunnittelu on vaiheittain tarkentuva prosessi (Priha et al. 2006; Ratahallintokeskus 2008). Eri kaavatasoja ovat maakunta-, yleis- ja asemakaavoitus. Edellinen kaavataso ohjaa aina seuraavaa kaavatasoa. Maankäyttö- ja rakennuslaki määrittelee kaavoituksen kulun ja sisällön. Maakuntakaavan laatimisesta vastaa maakunnan liitto, kun taas yleis- ja asemakaavoituksen laatimisesta vastaa kunta. (Priha et al. 2006)

Väylähankkeen vaiheista esisuunnittelua ja tarveselvityksiä tehdään maakuntakaavoituksen kanssa yhtäaikaaisesti. Yleissuunnittelua ja yleiskaavoitusta laaditaan rinnakkain. Asemakaavoitusta taas tehdään hankkeesta riippuen tiesuunnittelun tai ratasuunnittelun sekä toteutusvaiheen eli rakennussuunnittelun ja rakennusvaiheen kanssa samanaikaisesti. (Priha et al. 2006; Ratahallintokeskus 2008) Kuvassa 2 on esitetty väylähankkeen vaiheiden kytkeytyminen maankäytön suunnitteluun.



Kuva 2. Väyläsuunnittelua ja maankäytön suunnittelua tehdään samanaikaisesti (muokattu lähteestä Priha et al. 2006).

Jokaisessa suunnitteluvaiheessa on tärkeää, että lopputuloksille on riittävät ja kattavat perustelut (H2). Mikäli hankkeen vaikutukset arvioidaan vähäisiksi, ei kaikkia suunnitteluvaiheita tarvita (Väylä 2019c). Suunnitteluvaiheita voidaan yhdistää riippuen hankkeen suuruudesta ja arvioituista vaikutuksista (Ahtiainen et al. 2011; Väylä 2019c).

2.3.1 Esisuunnittelu ja tarveselvitys

Esisuunnittelu- ja tarveselvitysvaiheissa selvitetään väylähankkeen tarpeellisuutta ja ajoitusta (Priha et al. 2006). Esi- ja tarveselvitysvaiheissa hahmotellaan erilaisia ratkaisuvaihtoehtoja, eikä niissä näin ollen tehdä vielä varsinaista hankkeen tai toimenpiteen suunnittelua (Tiehallinto 2009a). Esisuunnittelu- ja tarveselvitysvaiheissa yritetään löytää kaikki toteuttamiskelpoiset vaihtoehdot sekä selvittämään niiden vaikutukset alustavasti (Niskanen 2015). Esisuunnittelussa ja tarveselvityksissä muodostetaan tavoitteet varsinaiselle suunnittelulle ja etsitään kustannustehokkain ratkaisu tavoitteiden saavuttamiseksi (Liikennevirasto 2013d). Esi- ja tarveselvitysten jälkeen päätetään, aloitetaanko varsinainen suunnittelu. Esi- tai tarveselvitys ei ole lakisääteinen suunnitteluvaihe eikä niillä ole oikeusvaikutuksia. (Tiehallinto 2009a).

Esi- ja tarveselvityksiä voidaan tehdä moneen eri tarkoitukseen. Kaikille esi- ja tarveselvityksille yhteisenä piirteenä on yleispiirteisyys. Esi- ja tarveselvityksille ominaista on lisäksi ongelmakeskeisyys. Vaihtoehtojen valintaa ja suositusta tärkeämpää on etsiä, löytää ja arvioida vaihtoehtoisia ratkaisuita. (Tiehallinto 2009a)

Esi- ja tarveselvitysten kohteiden määrä ja laajuus voivat vaihdella (Priha et al. 2006; Tiehallinto 2009; Ahtiainen et al. 2011). Esi- ja tarveselvityksessä voidaan tarkastella yksittäistä kohdetta, tiejaksoa tai pidempää yhteysväliä (Tiehallinto 2009a). Esi- ja tarveselvityksessä tarkasteltavan alueen laajuus voi vaihdella pienialaisista ja pienipiirteisistä suunnitelmista aina useampien maakuntien alueen kattaviin selvityksiin (Priha et al. 2006).

2.3.2 Yleissuunnittelu

Yleissuunnitteluvaihe on lakisääteinen suunnitteluvaihe. Yleissuunnitelma on laadittava, jos hankkeen vaikutukset eivät ole vähäiset tai radan tai maantien sijaintia ja sen vaikutuksia ei ole ratkaistu riittävässä määrin asemakaavoituksessa tai voimassa olevassa yleiskaavassa. (Maantielaki 2005/503; Ratalaki 2007/110) Yleissuunnittelu tulee toteuttaa aina uusien väylähankkeiden alkuvaiheessa. Yleissuunnitelman laajuus, sisältö ja tarkkuustaso vaihtelevat hankekohtaisesti. (Tiehallinto 2009a) Tyypillisesti yleissuunnitteluvaiheen käynnistyessä on olemassa vielä useita päävaihtoehtoja. Yleissuunnittelun aikana päätetään viimeisteltävästä vaihtoehdosta. (Niskanen 2015)

Yleissuunnitteluvaiheessa tulee toteuttaa YVA hankkeissa ja niiden muutoksissa, joilla on todennäköisesti merkittäviä ympäristövaikutuksia. YVA tulee tehdä aina seuraavissa hankkeissa:

- moottoritien tai moottoriliikennetien rakentaminen
- pituudeltaan vähintään 10 kilometrin pituisen yhtäjaksoisen neli- tai useampikais-
taisen uuden tien rakentaminen
- pituudeltaan vähintään 10 kilometrin pituisen yhtäjaksoisen neli- tai useampikais-
taisen tieosuuden uudelleen linjaus tai leventäminen
- kaukoliikenteen rautateiden rakentaminen. (Laki ympäristövaikutusten arviointi-
menettelystä 2017)

Tarvittaessa yleissuunnitelman laatiminen voidaan jakaa kahteen osaa. Tällöin ennen varsinaista yleissuunnitelmaa voidaan toteuttaa alustava yleissuunnitelma. Alustava yleissuunnitelma voi olla tarpeen laatia esimerkiksi maankäytön suunnittelun tarpeisiin. Varsinainen yleissuunnitelma voidaan tässä tapauksessa tehdä myöhemmässä vaiheessa, kun hankkeen toteutukseen on vähemmän aikaa. (Ratahallintokeskus 2008) Alustavia yleissuunnitelmia on tehty etenkin suuremmissa ratahankkeissa, joissa etsitään uutta linjausta ratayhteydelle. Ratahallinnon (2008) mukaan alustavassa yleissuunnitelmavaiheessa etsitäänkin uudelle ratalinjaukselle vaihtoehtoisia ratkaisuita.

2.3.3 Tie- ja ratasuunnittelu

Yleissuunnitelman tavoin myös tie- ja ratasuunnitteluvaiheet ovat laissa määrättyjä (Priha et al. 2006; Ratahallintokeskus 2008). Tie- ja ratasuunnitelma laaditaan yleissuunnitelman pohjalta, mikäli hanke on edellyttänyt yleissuunnitelman laatimista (Priha et al. 2006; Ratahallintokeskus 2008). Tie- ja ratasuunnitteluvaiheissa tehdään huomattavasti edeltäviä suunnitteluvaiheita yksityiskohtaisempaa suunnittelua. Tekniset ratkaisut tarkistetaan suunnittelun aikana niin, että väylä on toteutettavissa. (Liikennevirasto 2013d)

Tie- ja ratasuunnitteluvaiheissa vaihtoehtojen välillä tehdään yleissuunnitelmaa tarkempaa vertailua (H5). Suunnittelun valmistuessa väylän sijainti tulee osoittaa niin tarkkaan,

että sen perusteella voidaan alue merkitä maastoon. Tie- ja ratasuunnitelmassa osoitetut alueet ja oikeudet voidaan lunastaa, kun suunnitelma on hyväksytty. (Tiehallinto 2009a)

2.3.4 Rakennussuunnittelu

Tiesuunnitelman pohjalta toteutetaan rakennussuunnitelma, joka sisältää hankkeen toteuttamisen vaatimat suunnitelma-asiakirjat (Priha et al. 2006; Ratahallintokeskus 2008). Mallista riippuen rakennussuunnitelman teettämisestä vastaa urakoitsija tai tilaaja (Niskanen 2015).

Rakennussuunnittelu kuuluu hankkeen välittömään toteuttamiseen. Rakennussuunnittelu tehdään vasta hankkeen rahoituksen järjestyttyä. (Väylä 2019c) Rakennussuunnitelman tulee olla yksiselitteinen, selkeä ja yksityiskohtainen sekä siinä tulee olla yksi valmis ratkaisu (Liikennevirasto 2013b). Rakennussuunnitelmassa ratkaistaan ja suunnitellaan tekniset yksityiskohdat (Liikennevirasto 2013b; Niskanen 2015). Rakennussuunnittelussa pyritään tuottamaan malli, joka on yhteensovitettu, virheetön ja kattava (Niskanen 2015).

2.4 Kustannushallinta

Kustannushallinnan tavoitteena on kustannusohjattu suunnittelu. Kustannushallintaa tarvitaan, jotta osataan arvioida määrärahoja budjetteja, ohjelmia ja hankintoja. Kustannushallinnan on tärkeää olla jatkuvaa, hallittua ja päämäärätietoista. Kustannusarviot ovat tärkeä osa hankkeiden suunnitteluperusteita sekä ne vaikuttavat hankkeiden sisältöön ja etenemisaikatauluun. Kustannusarvioiden tulee olla sitä tarkempia ja luotettavampia, mitä lähempänä toteutusta ollaan. (Liikennevirasto 2013d)

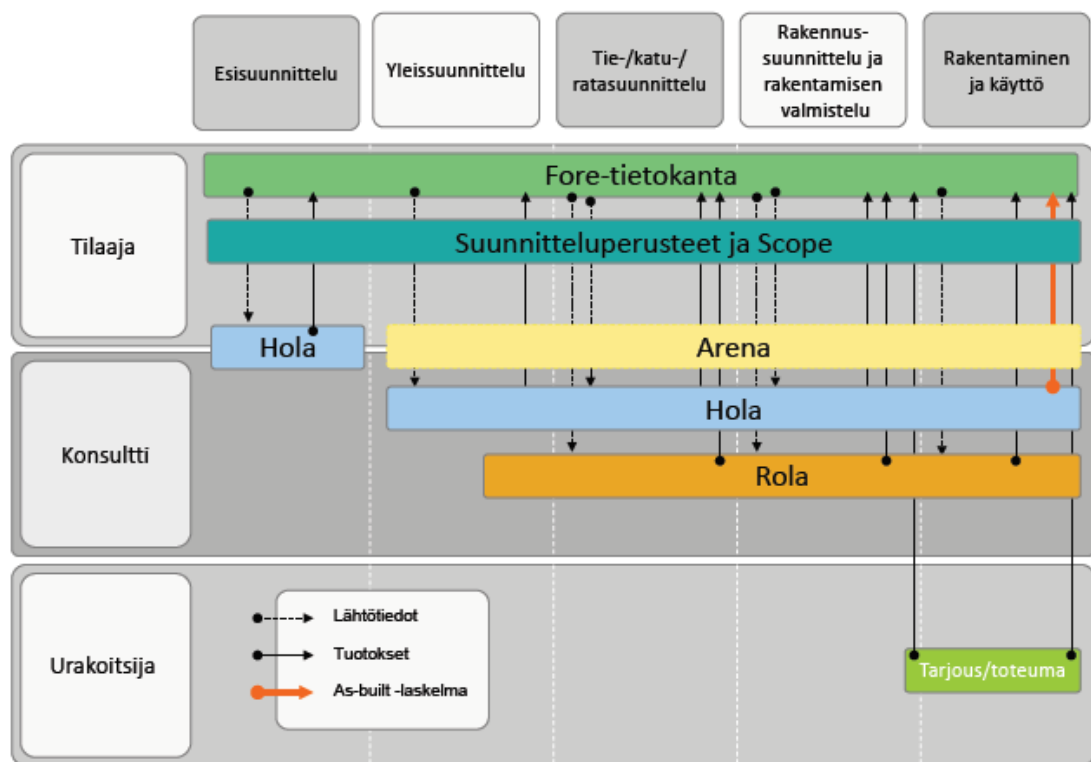
Esisuunnitelman kustannusarvio on merkittävässä roolissa, sillä se toimii lähtötietona seuraavien vaiheiden kustannushallintaan. Esisuunnitteluvaiheessa kustannuslaskenta tehdään hankeosalaskentana. Kustannuslaskennan tekemiseen voidaan käyttää siihen tarkoitettua ohjelmistoa, asiantuntija-arvioita tai näiden yhdistelmää. Esisuunnitteluvaiheessa yleensä ainakin osa kustannuslaskennasta tehdään asiantuntija-arvioiden perusteella. Esisuunnitteluvaiheessa kustannusarvion laadinnassa tulee huomioida riittävällä tarkkuudella kustannuksiin vaikuttavat tekijät. Tekijät tulee huomioida, vaikkei niiden toteutusta olisi tarkemmin suunniteltu. Eri vaihtoehdoille muodostettujen kustannusarvioiden pitää olla keskenään vertailukelpoisia. (Liikennevirasto 2013d)

Yleissuunnitelmassa laadittu kustannusarvio on merkittävä vaikutus hankkeelle ja sen etenemiselle. Yleissuunnitelman kustannusarvion laadinnassa hyödynnetään pääsääntöisesti hankeosalaskentaa. Koska määrätietojen kerääminen ja hyödyntäminen kustannuslaskennassa alkaa viimeistään yleissuunnitteluvaiheessa, voidaan käyttää rakennusosalaskentaa. Rakennusosalaskentaa käytetään ainoastaan, mikäli suunnittelutarkkuus joidenkin kustannuserien osalta on riittävä. Rakennusosalaskennan käyttäminen voi olla tarpeen suoritteissa, joilla on merkittäviä vaikutuksia kustannuksiin. Yleissuunnittelussa siltojen ja

tunneleiden kustannusarvioihin käytetään hankeosalaskentaa. Tarvittaessa kustannuserien arvioimiseen käytetään asiantuntija-arvioita. (Liikennevirasto 2013d)

Tie- ja ratasuunnitteluvaiheessa suunnittelun tarkentuminen luo edellytykset kustannusarvion tarkentamiselle. Tavoitteena on, että lopullisen tie- tai ratasuunnitelman kustannusarvio perustuu kokonaan rakennusosalaskentaan. *Rakennussuunnitelman* kustannusarvion tavoitteena on rakentamisen kustannuksien luotettava ennakointi. Kun rakennussuunnitelma valmistuu, kaikki määrät on laskettu rakennusosan tarkkuudella. (Liikennevirasto 2013d)

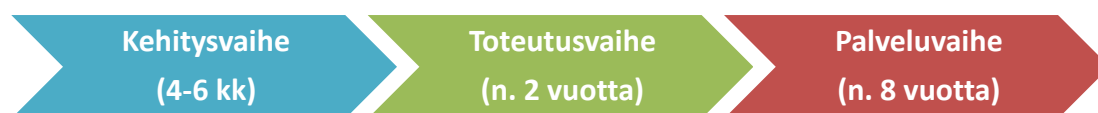
Väylän ja ELY-keskusten hankkeiden kustannushallinnassa on hyödynnetty vuodesta 2008 lähtien Fore-palvelun ohjelmistoja ja hinnastoja. Fore-palvelu sisältää osatuotteita. Osatuotteita ovat tavoitteiden kuvaamiseen tarkoitettu Scope, hankeosalaskentaan soveltuva Hola, rakennusosalaskentaan käytettävä Rola sekä laskelmien yhteenvedoa, seurantaa ja vertailua varten kehitetty Arena. Suunnittelutoimisto hyödyntää kustannusarviossa hankkeen vaatimaa ohjelmistoa. Kaikki lähtötiedot haetaan Fore-tietokannasta ja tuotokset viedään tietokantaan. (Liikennevirasto 2011) Kuvassa 3 esitetään Fore-palvelua käytettäessä väylähankkeen eri vaiheiden kustannuslaskennan työkalut.



Kuva 3. Väylähankkeen kustannustenhallinnan työkalut hankkeen eri vaiheissa Fore-palvelua käytettäessä (Liikennevirasto 2011).

Infrahankkeiden kustannuslaskentajärjestelmä ja -palveluallianssi (Ihku-allianssi) toteuttaa uuden kustannuslaskentajärjestelmän infrahankkeille. (Ihku-allianssi 2019) Hankkeessa kehitetään infrahankkeiden eri vaiheisiin luotettavat kustannusarviot tuottava

kustannuslaskentajärjestelmä sekä luodaan tehokkaat menettelyt, joilla ylläpidetään laskennan käyttämiä ja tuottamia hinnastoja. (Ihku-allianssi 2018) Hanke toteutetaan allianssimallina, jossa Civilpoint Oy on mukana. Järjestelmä käyttöön otetaan vaiheittain vuosina 2019-2020. (Ihku-allianssi 2019) Hanke koostuu peräkkäin toteutettavista 4-6 kuukautta kestävästä kehitysvaiheesta, noin 2 vuotisesta toteutusvaiheesta sekä noin 8 vuotisesta palveluvaiheesta (Ihku-allianssi 2018). Hankkeen yleisaikataulu on esitetty kuvassa 4.



Kuva 4. Ihku-allianssin yleisaikataulu (muokattu lähteestä Ihku-allianssi 2018).

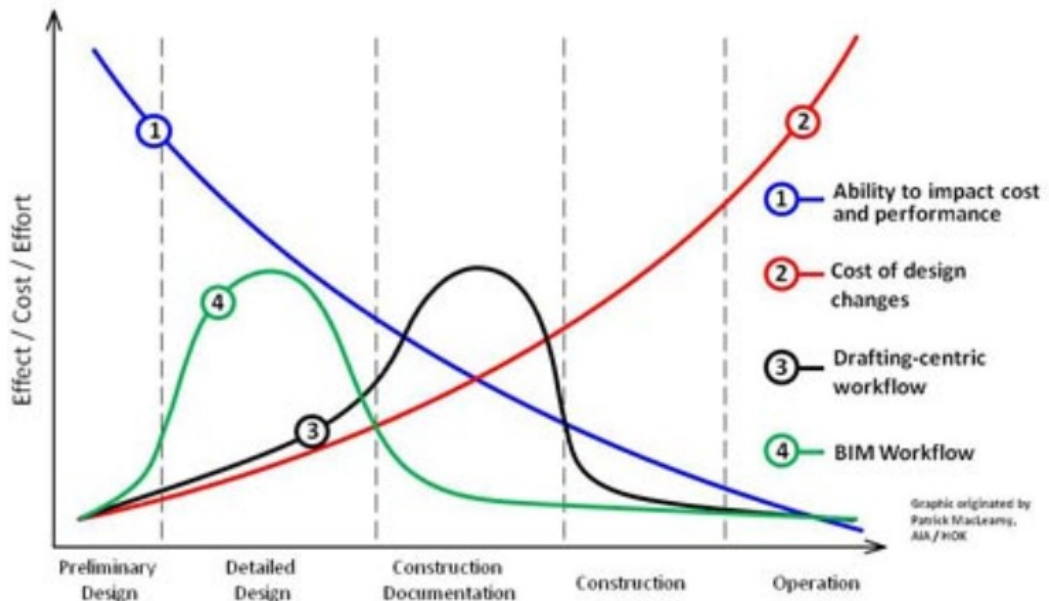
Hanke siirtyi alkuvuodesta 2019 toteutusvaiheeseen (Civilpoint 2019b). Kehitysvaiheen aikana luotiin suuntaviivat laskentalogiikan määrittelylle ja kustannustiedon hankinnan lähtökohdat. Toteutusvaiheessa määritellään laskentalogiikka, hankitaan kustannustieto, tehdään käyttäjätestausta sekä julkistus. Palveluvaiheessa päivitetään kustannustietoa sekä tehdään jatkokehitystä. (Ihku-allianssi 2018) Koska Ihku-allianssi on vielä toteutusvaiheen alussa, voivat sen laskentalogiikka ja -prosessi vielä muuttua. Siksi niihin ei perehdytä tässä tutkimuksessa tarkemmin.

2.5 Infran tietomallinnus

Tietomalli tarkoittaa rakennelman esittämistä digitaalisessa muodossa kolmiulotteisesti ominaisuustietojen kanssa. Inframalli-termiä käytetään infra-alan tietomallista sekaannuksien välttämiseksi. (Liikennevirasto 2016) Tietomallinnus on tiedonhallintaa ja tiedon kokonaisvaltaista hyödyntämistä. Tietomallinnuksen avulla pyritään välttämään tekemästä hukkatyötä. Mallinnuksen tavoitteena on kertaalleen suunnitellun tai mallinnetun tiedon hyödyntäminen toisessa suunnitteluvaiheessa tietoa menettämättä. (Liikennevirasto 2017)

Tietomallinnuksella on suuri potentiaali parantaa infrastruktuuria ja sen suunnittelua (Bradley et al. 2016; Costin et al. 2018). Tietomalliin voidaan lisätä esimerkiksi tietoja aikatauluista tai kustannuksista (Kamardeen 2010). Tietomallinnusta voidaan soveltaa riskienhallinnan työvälineeksi, jolla riskejä voidaan valvoa ja turvallisuutta parantaa (Costin et al. 2018; Tuominen 2018). Tietomallinnuksella on mahdollista ylläpitää korkeaa turvallisuustasoa esimerkiksi erilaisten analyysien avulla. Tietomallinnuksessa voidaan hyödyntää myös kehittyvää teknologiaa kuten robotteja, droneja, langallisia ja langattomia antureita, online-tietokantoja ja pilvipalveluita, laserskannausta, lisääntyntä todellisuutta ja virtuaalitodellisuutta sekä Global Positioning Systems (GPS) -paikannusta. (Costin et al. 2018)

Hankkeen alussa pystytään vaikuttamaan kustannuksien muodostumiseen paremmin kuin hankkeen lopussa. Hankkeen alun suunnittelumuutokset eivät vaikuta kustannuksiin niin merkittävästi kuin muissa suunnitteluvaiheissa. Tietomallien hyödyt riippuvatkin siitä, kuinka aikaisessa vaiheessa ne tehdään ja niitä hyödynnetään. Suurin hyöty tietomallien käytöstä saadaan käyttämällä niitä hankkeen alusta lähtien. (Strafaci 2014) Tietomallinnuksen hyötyjä on havainnollistettu kuvassa 5. Kuvassa 5 sininen käyrä kuvaa kykyä vaikuttaa muutoksiin, punainen käyrä suunnittelussa tapahtuvien muutoksien kustannuksia, musta käyrä perinteistä suunnittelua ja vihreä käyrä tietomallinnusta.



Kuva 5. Tietomallinnukset aikaansaamat hyödyt suunnittelussa riippuvat siitä, kuinka aikaisessa vaiheessa tietomallinnus aloitetaan. (Strafaci 2014)

Mallinnuksella saavutetaan useita hyötyjä. Tietomallinnuksen suurimmat hyödyt ovat paremmat suunnitelmat sekä tehokkuuden ja tuottavuuden parantuminen (Strafaci 2014). Hankkeen alussa tietomallinnus auttaa vertailemaan skenaarioita, valitsemaan niistä parhaimman sekä minimoimaan aikaa ja kustannuksia. Suunnittelun aikana tietomallinnus auttaa erityisesti suunnittelukriteerien tarkistuksessa. Tietomallinnus parantaa kaikissa suunnittelun vaiheissa suunnittelun laatua, suunnitelmien havainnollistamista ja yhteistyötä. (Costin et al. 2018)

Tietomallinnuksen hyödyt riippuvat hankevaiheesta. Suurimmat hyödyt saavutetaan rakennussuunnittelussa. (Liikennevirasto 2017) Kuitenkin kaikissa hankevaiheissa saavutetaan hyötyjä tietomallinnuksen avulla (Liikennevirasto 2017; Costin et al. 2018) Tietomallinnuksella tavoiteltavia hyötyjä ja niiden painopisteitä eri hankevaiheissa havainnollistetaan kuvassa 6. Kuvassa 6 vihreät ja keltaiset laatikot kuvastavat painopisteitä niin, että vihreä väri edustaa tärkeimpiä painopisteitä.

	Esisuunnittelu	Yleissuunnittelu	Tiesuunnittelu Ratasuunnittelu	Rakennus- suunnittelu	Urakatarjous- vaihe	Rakentaminen	Kunnossapito
Tiedon jälleenkäyttöarvo							
Suunnittelun laadunvarmistus							
Visualisointi ja vuorovaikutus							
Työmaaprosessien tehostaminen							
Rakennusprosessin laadunvarmistus							

Kuva 6. Tietomallinnuksella tavoiteltavat hyödyt ja niiden painopisteet eri hanke-
vaiheissa. Painopisteitä kuvaavat vihreät ja keltaiset laatikot niin, että vihreä
väri edustaa tärkeimpiä painopisteitä. (Liikennevirasto 2017)

Hankkeen tavoitteet ja käyttötarkoitus luovat perustan tietomallinnuksen laajuus- ja tarkkuusvaatimuksille. Pääperiaatteena on, että malli sisältää suunniteltavat asiat. (Niskanen 2015) Näin ollen suunnittelun tarkentuessa myös inframalli tarkentuu.

Esisuunnitelmissa ja tarveselvityksissä mallinnuksen rooli ei ole merkittävä ja mallinnus painottuu lähtötietomallin laadintaan. Esisuunnittelussa ja tarveselvityksissä sovitaan hankekohtaisesti mallinnuksen tasosta, laajuudesta ja jaottelusta. Esisuunnitelma- ja tarveselvitysvaiheissa havainnekuvia ja 3D-mallintamista tehdään usein vain merkittävimmässä kohteissa. Esisuunnittelu ja tarveselvityksissä on tärkeää toimia sovitussa koordinaatistossa. (Janhunen et al. 2015; Liikennevirasto 2017)

Yleissuunnittelussa mallinnetaan päävaihtoehtot, jotta kustannus- ja vaikutusarvioinnit olisivat parempia, yhteensopivuus varmistetaan ja vaihtoehtot olisi helpompi havainnollistaa (Niskanen 2015). Yleissuunnittelussa tarkennetaan aiemmassa suunnitteluvaiheessa tehtyä lähtötietomallia. Yleissuunnitelmassa laaditaan malli siten, että siinä voidaan havainnollistaa suunnitteluratkaisuita. Yleensä yleissuunnitelmavaiheessa mallit ovat sisällöltään pelkistettyjä. Mallien avulla voidaan esimerkiksi esittää väylän geometria ja tilavaraus sekä sovittaminen ympäristöön. (Janhunen et al. 2015; Liikennevirasto 2017)

Tie- ja ratasuunnitelmavaiheissa mallinnetaan suunnitellut tekniset ratkaisut riittävällä tilavaraustarkkuudella. Tie- ja ratasuunnittelussa mallintaminen edesauttaa havainnollistamisessa, kustannusten ja vaikutusten arvioinnissa sekä yhteensopivuuden varmistamisessa. *Rakennussuunnitelmavaiheessa* esitetään rakenteet, rakenneosat ja -kerrokset yksityiskohtineen. (Niskanen 2015)

Suomessa on käytössä infratietojen siirtoon oma, avoin Inframodel- formaatti (IM), joka perustuu kansainväliseen LandXML-standardiin. Yhtenäinen toimintatapa avoimen tietomallipohjaisen formaatin kanssa ovat tehostaneet suunnittelua ja rakentamista. (buildingSMART Finland 2019)

2.6 Lähtötiedot ja niiden hankinta

Suunnittelukohde vaikuttaa tarvittavien lähtötietojen määrään ja laatuun. Hankkeeseen merkittävästi vaikuttavat lähtötiedot tulee selvittää. Lähtötietojen hankkimista valmistellaan erilaisin toimenpitein. Aluksi selvitetään olemassa olevat lähtötiedot. Lähtötietojen lähde vaihtelee ja niitä voidaan saada esimerkiksi edellisistä suunnitelmavaiheista, muista kohteen suunnitelmista tai erilaisista rekistereistä (Liikennevirasto 2010). Käytettävien lähtöaineistojen tarkkuustaso riippuu suunnitelmavaiheesta.

Lähtötiedoiksi suunnitteluun hankitaan, laaditaan tai tilataan tarvittavat tutkimukset, selvitykset ja mittaukset. Mahdollisia lähtötiedoksi tarvittavia tietoja ovat liikennejärjestelmäsuunnitelma, kaavat, kartta- ja ilmakuva-aineisto, maastomalli sekä tiedot maanomistajista, rajoista, maaperä- ja pohjaolosuhteista sekä mahdollisista pilaantuneista maista. Lähtötiedoiksi voidaan tarvita myös ympäristöön liittyviä aineistoja, nykyisten väylien ja rakenteiden kuntotietoja, liikennetietoja sekä johto- ja laitetietoja. Ympäristöön liittyviä aineistoja ovat esimerkiksi kulttuuriperintöön, maisemaan, elottomaan ja elolliseen luontoon sekä rakennettuun ympäristöön liittyvät aineistot. Lisäksi selvitetään kohteeseen välillisesti vaikuttavat suunnitelmat. Lähtötietoja täydennetään tarvittaessa maastokäynteillä. (Liikennevirasto 2010)

Lähtötietoja voidaan saada myös avoimista tietoaaineistoista. Avoimet tietoaaineistot sisältävät julkista tietoa koneluettavassa muodossa ja ne ovat maksutta uudelleen käytettävissä (Helsinki Region Infoshare 2017a). Avoimesti saatavilla olevat tietoaaineistot voivat olla jossain määrättyssä tiedostomuodossa tai rajapintana. Harvoin päivittyvät aineistot voivat olla saatavina tiedostoina, kun taas usein päivittyvät aineistot rajapintana. Rajapinnan etuna on aineiston ajantasaisuuden säilyminen ilman manuaalista päivittämistä. (Helsinki Region Infoshare 2017b)

Erilaisia rajapintoja ovat esimerkiksi paikkatietoa sisältävät Web Map Service (WMS), Web Map Tile Service (WMTS) ja Web Feature Service (WFS) -rajapintapalvelut. WMS ja WMTS ovat paikkatietoaaineiston karttakuvana palauttavia rajapintapalveluita. Palveluista saatuja aineistoja voidaan katsella, mutta niille ei voida tehdä paikkatietokyselyitä eikä aineiston ulkoasua voida muuttaa. Näin ollen WMS ja WMTS-rajapinnat sopivat aineiston katseluun. (Liikennevirasto 2015a) WFS-rajapinnalla paikkatietoaaineistoja jaetaan ajantasaisena vektorimuodossa (Helsingin kaupunki 2018). WFS-rajapinnalla voidaan suorittaa paikkatietokyselyitä sekä visualisoida aineistoa tarpeen mukaan (Liikennevirasto 2015a).

Suomessa useat viranomaiset julkaisevat paikkatietoaaineistoa avoimesti saatavina tietoaaineistoina. Valtakunnallisia aineistoja julkaisevia tahoja ovat esimerkiksi Suomen ympäristökeskus (SYKE), Väylä, Geologian tutkimuskeskus (GTK), Maanmittauslaitos (MML) ja Museovirasto. Lisäksi jotkin kaupungit ja kunnat kuten Helsingin kaupunki, Espoon kaupunki, Vantaan kaupunki, Turun kaupunki ja Tampereen kaupunki tarjoavat

avoimia tietoaineistoja (Gispo 2018). Avoimia aineistoja löytyy esimerkiksi seuraavista tiedoista:

- Ilmakuvat
- Joet
- Järvet
- Kiinteistörajat
- Kiinteät muinaisjäännökset
- Korkeusmalli
- Luonnonsuojelualueet
- Maaperäkartta
- Natura 2000-alueet
- Pohjavesialueet
- Taustarajat
- Tiestö osoitteilla
- Taajama-alueet
- Valtakunnallisesti arvokkaat kallioalueet
- Valtakunnallisesti arvokkaat moreenimuodostumat
- Valtakunnallisesti arvokkaat tuuli- ja rantakerrostumat
- Valtakunnallisesti merkittävät rakennetut kulttuuriympäristöt.

Avoimen datan lähteitä ja niistä saatavilla olevia lähtötietoja on kerrottu tarkemmin liitteessä B. Useat avoimen datan aineistoista on saatavilla WFS ja WMS-rajapintoina sekä ladattavina tiedostoina. Ladattavien tiedostojen tiedostomuodot vaihtelevat aineiston mukaan, mutta useat aineistot ovat Esri Shapefile-formaatissa. Kaupunkien ja kuntien omista tietoaineistoista on saatavilla useita samoja aineistoja kuin valtakunnallisista aineistoista kuitenkin sillä erolla, että kunnat ja kaupungit tarjoavat aineistoja vain oman kaupungin tai kunnan alueelta.

2.7 Vaihtoehtojen muodostaminen ja vertailu

2.7.1 Periaatteet

Vaihtoehtojen suunnittelussa selvitetään mahdolliset maastokäytävät väylälinjaukselle (Ratahallintokeskus 2008; Liikennevirasto 2010). Ympäristö määrittää sijainnin maastokäytävälle. (Liikennevirasto 2013c) Yleensä suunnittelun alkuvaiheessa pyritään määrittämään ensisijaisesti alueet, joita väylälinjauksen tulisi välttää (Ratahallintokeskus 2008). Maaston luonne kuten jyrkkärinteisyys tai perustamisolosuhteiltaan huono maaperä voivat antaa suunniteltavalle linjaukselle reunaehdoja. Lisäksi maastokäytävää valittaessa pyritään välttämään maisemallisesti, kasvustollisesti tai eläimistöllisesti arvokkaita tai harvinaisia elinympäristöjä sekä tärkeitä pohjavesialueita. Vesistöylityksien määrä

pyritään minimoimaan ja ylityskohdat sijoitetaan luonnollisiin kapeikkopaikkoihin. (Liikennevirasto 2013c)

Valitun maastokäytävän sisältä valitaan suunniteltavalle väylälle vaihtoehdot. Kaikille vaihtoehdoille suunnitellaan alustavasti vaaka- ja pystygeometria. (Ratahallintokeskus 2008; Liikennevirasto 2010) Tiehankkeissa selvitetään liittymäkohdat ja -tyypit. Tien linjaus suunnitellaan valittuun maastokäytävään siten, että se myötäilee maaston topografiaa ja suuntautuneisuutta. Suunnittelun linjauksen tulee täyttää niin liikenne- kuin tietekniset vaatimukset. Linjausgeometriaan vaikuttavat tietyyppi ja mitoitusnopeus. Mikäli mitoitusnopeus on suuri, geometrian tulee olla loiva. Tietyyppin ja mitoitusnopeuden lisäksi myös ympäristön pinnanmuodot vaikuttavat linjausgeometriaan. Maastonmuotoja myötäilevä geometria sopii pienipiirteiseen maastoon, kun taas suuripiirteinen geometria sopii suurimittakaavaiseen maastoon. (Liikennevirasto 2013c)

Selvitysten pohjalta laaditaan vaihtoehtoluonnokset. Luonnosvaihtoehtojen olennaiset erot selvitetään riskien, toteuttamiskelpoisuuden ja vaikutuksien osalta. Tämän perusteella tehdään vaihtoehtojen karsinta. Toteuttamiskelpoisia vaihtoehtoja tutkitaan ja vertaillaan tarkemmin. (Liikennevirasto 2010)

Vaihtoehtoja tarkennetaan ja niiden vaikutukset arvioidaan. Lisäksi arvioidaan vaihtoehtojen kustannukset ja riskit. Vaihtoehtoja ja niiden vaikutuksia vertaillaan sekä keskenään että asetettuihin tavoitteisiin nähden. Vertailuvaihtoehtona käytetään aina tien ennallaan säilyttämistä tai sen vähäistä parantamista. (Liikennevirasto 2010) Visualisointi on hyvä apuväline vaihtoehtovertailuun, sillä sen avulla vaikutukset nähdään paremmin. Kuitenkaan vaihtoehtovertailujen visualisointia ei vielä kaikissa hankkeissa tehdä. (H5) Lopuksi valitaan hankkeen tavoitteiden kannalta paras vaihtoehto (H2).

2.7.2 Geometrian suunnittelu ja poikkileikkaukset

Luvussa keskitytään tien vaaka- ja pystygeometrian suunnitteluun, sillä näitä tietoja tarvitaan optimoinnin lähtötiedoiksi. Tien suunnittelu ei kuitenkaan eroa merkittävästi radan suunnittelusta muuten kuin käytettävien parametrien osalta.

Tien vaakageometria koostuu vaakageometrian suunnitteluelementeistä. Näitä ovat suora, ympyränkaari ja siirtymäkaari. Suunnitteluelementeistä suora sopii tasaiseen maastoon, sillä silloin usein on hyvät näkemä- ja ohitusolosuhteet. Suoralla ei kuitenkaan yleensä mäkisessä maastossa saavuteta tien ja ympäristön välistä harmoniaa. Myöskään liian pitkiä suoria ei pidä käyttää, sillä ne ovat yksitoikkoisia ja väsyttäviä ajaa. Yleensä moottori-, moottoriliikenne- tai muilla vastaavilla teillä yhtäjaksoisen suoran pituus ei ylitä 3000 metriä. Moottoriliikennetietä lukuun ottamatta suoran enimmäispituus on yleensä 2000 metriä. (Liikennevirasto 2013c) Sivukaltevuuden järjestelyjen takia suoran pituuden vähimmäisarvo lasketaan yleensä yhtälöllä

$$L = 2v, \quad (1)$$

jossa L on suoran pituus ja v on mitoitusnopeus.

Ympyräkaaren säde tulee valita niin, että ajoneuvoon vaikuttavat sivusuuntaiset voimat pysyvät ajoturvallisten ja -mukavien rajoissa, kaartein kohdalla on riittävät näkemät ja tien muoto on joustava. Tasaisella nopeudella liikkuvaan ajoneuvoon vaikuttaa ympyräkaaren muotoisella tiellä sivukiikityvyydestä aiheutuva keskipakoisvoima. Keskipakoisvoiman suuruus on riippuvainen kaarresädestä ja ajonopeudesta. Tämä voima pitää kumota pinnan ja ajoneuvon renkaiden välisellä kitkavoimalla sekä ajoradan sivukaltevuudella. Muuten ajoneuvo liukuu ajoradalta pois kaartein kohdalla. (Liikennevirasto 2013c)

Kaartein kohdalla tie suunnitellaan yleensä yksipuolisesti sivukaltevaksi. Kuitenkin tie voidaan suunnitella kaksipuolisesti sivukaltevaksi kaartein kohdalla esimerkiksi kuivatusjärjestelmien takia (Liikennevirasto 2013c). Ajoteknisiin arvoihin perustuvat minimikaarresädet yksipuolisesti sivukaltevalla tiellä on esitetty taulukossa 2 ja kaksipuolisesti sivukaltevalla tiellä taulukossa 3.

Taulukko 2. Kaarresäteen ajodynamiikan mukaiset arvot yksipuolisesti sivukaltevalla tiellä eri suunnittelunopeuksilla (Liikennevirasto 2013c).

Sivukaltevuus (%)	Kaarresäde (m)											
	30 km/h			40 km/h			50 km/h			60 km/h		
	Ohjearvo	Vähimmäisarvo	Välttävää (taajama)	Ohjearvo	Vähimmäisarvo	Välttävää (taajama)	Ohjearvo	Vähimmäisarvo	Välttävää (taajama)	Ohjearvo	Vähimmäisarvo	Välttävää (taajama)
2'	40	40	35	75	75	60	170	135	100	320	220	160
3	35	35	30	70	70	55	160	125	95	300	200	150
4	35	35	30	65	65	55	150	115	90	280	190	140
5	35	35	30	65	65	50	140	110	85	260	180	135
6										240	170	130
Sivukaltevuus (%)	70 km/h			80 km/h			100 km/h			120 km/h		
	Ohjearvo	Vähimmäisarvo	Välttävää (taajama)	Ohjearvo	Vähimmäisarvo	Välttävää (taajama)	Ohjearvo	Vähimmäisarvo	Välttävää (taajama)	Ohjearvo	Vähimmäisarvo	Välttävää (taajama)
	Ohjearvo	Vähimmäisarvo	Välttävää (taajama)	Ohjearvo	Vähimmäisarvo	Välttävää (taajama)	Ohjearvo	Vähimmäisarvo	Välttävää (taajama)	Ohjearvo	Vähimmäisarvo	Välttävää (taajama)
2'	460	330	240	640	460	340	1000	900	660	1500	1500	
3	420	300	220	580	420	320	900	800	600	1300	1300	
4	390	280	210	530	390	300	810	720	560	1100	1100	
5	360	260	200	490	360	280	740	650	520	1000	1000	
6	340	240	190	460	340	260	680	600	490			

Taulukko 3. Kaarresäteen ajodynamiikan mukaiset arvot kaksipuolisesti sivukaltevalla tiellä eri suunnittelunopeuksilla (Liikennevirasto 2013c).

Sivukaltevuus (%)	Kaarresäde (m)											
	30 km/h			40 km/h			50 km/h			60 km/h		
	Ohjearvo	Vähimmäisarvo	Välttävää (taajama)	Ohjearvo	Vähimmäisarvo	Välttävää (taajama)	Ohjearvo	Vähimmäisarvo	Välttävää (taajama)	Ohjearvo	Vähimmäisarvo	Välttävää (taajama)
2,5	120	120	100	250	250	180	500	400	300	1000	650	500
3	150	150	120	300	300	220	650	500	400	1200	800	600
4	300	300	250	600	600	500	1400	1100	800	2500	1700	1300
Sivukaltevuus (%)	70 km/h			80 km/h			100 km/h			120 km/h		
	Ohjearvo	Vähimmäisarvo	Välttävää (taajama)	Ohjearvo	Vähimmäisarvo	Välttävää (taajama)	Ohjearvo	Vähimmäisarvo	Välttävää (taajama)	Ohjearvo	Vähimmäisarvo	Välttävää (taajama)
	Ohjearvo	Vähimmäisarvo	Välttävää (taajama)	Ohjearvo	Vähimmäisarvo	Välttävää (taajama)	Ohjearvo	Vähimmäisarvo	Välttävää (taajama)	Ohjearvo	Vähimmäisarvo	Välttävää (taajama)
2,5	1400	1000	750	1900	1400	1000	3000	2600	2000			
3	1700	1200	900	2400	1700	1300	3600	3200	2500			
4	3500	2500	1900	4800	3500	2700	7300	6500	5000			

Siirtymäkaarta käytetään yleensä suoran ja ympyräkaaren välissä. Siirtymäkaari on säteeltään vähitellen muuttuva kaari (Liikennevirasto 2013c) ja sitä käytetään, jotta geometrian kaarevuudessa ei tapahtuisi nopeaa pistemäistä muutosta (Ratahallintokeskus 2008). Suomessa siirtymäkaarena käytetään yleensä klotoidia, joka on eräänlainen matemaattinen käyrä. (Ratahallintokeskus 2008; Liikennevirasto 2013c) Klotoidin kaarevuus muuttuu lineaarisesti. Muista suunnittelulementeistä poiketen klotoidin mitoitushjeat eivät ole tiettyypistä riippuvaisia. Siirtymäkaari voidaan poikkeustapauksissa jättää pois. (Liikennevirasto 2013c)

Klotoidin perusyhtälö on $A^2 = RL$, jossa A on klotoidin parametri, L on klotoidin kaaren pituus ja R on kaarresäde etäisyydellä L klotoidin alkupisteestä. Näin ollen klotoidin kaaren pituus saadaan laskettua yhtälöllä

$$L = \frac{A^2}{R}. \quad (2)$$

Klotoidin parametri A voidaan yleensä valita optiset näkökohdat huomioiden taulukon 4 mukaan.

Taulukko 4. Klotoidin parametrin määräytyminen optisten näkökohtien perusteella (Liikennevirasto 2013c).

Kaarresäde R (m)	Klotoidin parametri A (m)
100...300	$R...0.5R$
300...1000	$0.5R...0.3R$
1000...2000	$0.3R...0.25R$
2000...3000	$0.25R...0.2R$

Ajoradan viettokaltevuus määräytyy pituus- ja sivukaltevuuden perusteella (Liikennevirasto 2013c). Taulukossa 5 on esitetty viettokaltevuuden enimmäisarvot. Näitä arvoja ei saa ylittää tielinjalla, jotta liukkaalla kelillä hitaasti kulkeva tai pysähtyvä ajoneuvo ei liu'u pois ajoradalta (Liikennevirasto 2013c).

Taulukko 5. Viettokaltevuuden enimmäisarvot tieluokittain (Liikennevirasto 2013c).

Tien luokka	Viettokaltevuuden enimmäisarvo (%)
Moottori- ja moottori-liikennetie	6.0
Valta- ja kantatie	7.0
Seututie	10.0
Yhdystie	13.0

Tasausviiva koostuu yleensä suorista ja pyöristyskaarista. Kumpikin näistä elementeistä vaikuttaa omanlaisesti ajodynamiikkaan, näkemäolosuhteisiin ja tien ulkonäköön. Suora tasaus on suoraviivaisesti nouseva tai laskeva tai vaakasuora. Suoran tasausviivan osuudella on todennäköisesti riittävät näkemät ja se on ajodynaamisesti edullinen.

Tasausviivan suorien osien ja niiden jatkeiden kohdat pyöristetään pyöristyskaarella. Pyöristyskaarena on yleensä ympyrän kaari. Pyöristyskaari on kupera, kun pyöristettävän kärjen kulma on ylöspäin. (Liikennevirasto 2013c) Taulukossa 6 on esitetty kuperan pyöristyssäteen minimiarvot suunnittelunopeuksittain tielinjalla, jossa ei ole liittymiä.

Taulukko 6. Kuperan pyöristyssäteen miniarvot tielinjalla suunnittelunopeuksittain (Liikennevirasto 2013c).

Suunnittelunopeus (km/h)	Kupera pyöristyssäde (m)								
	Tavallinen yksiajoratainen tie			Leveä- ja 1-ajokaistainen tie			Kaksiajoratainen tie ¹		
	Ohjearvo	Vähimmäisarvo	Välttävä (taajama)	Ohjearvo	Vähimmäisarvo	Välttävä (taajama)	Ohjearvo	Vähimmäisarvo	Välttävä (taajama)
30	200	150	90	400	300	200			
40	500	350	200	950	550	400			
50	1200	700	500	2300	1400	1000	1000	600	400
60	2400	1300	1000	4600	2600	2000	2000	1200	800
70	4000	2300	1700	7700	4100		3300	2000	1400
80	6200	3700	2600	12000	6500		5100 ²	3200	2200
100	11500	8000	6600	21000	15000		9300 ²	6400	
120							20000	17000	

¹ Jos kevyttä liikennettä, niin mitoitus yksiajorataisen tien mukaisesti

² Moottori- ja moottoriliikenneteillä käytetään tavallisen yksiajorataisen tien ohjeellisia arvoja

Pyöristyskaari on kovera, kun pyöristettävän kulman kärki on alaspäin. Kuperan taitteen kohdalla tien pinta luo näkemäesteen. Tämä rajoittaa tien suunnassa näkemää. Näkemän pituus on riippuvainen taitekulmasta ja pyöristyssäteestä. (Liikennevirasto 2013c) Koveran pyöristyssäteiden arvot suunnittelunopeuksittain on esitetty taulukossa 7.

Taulukko 7. Koveran pyöristyssäteiden arvot suunnittelunopeuksittain (Liikennevirasto 2013c).

Suunnittelunopeus (km/h)	Kovera pyöristyssäde (m)		
	Ohjearvo tai hyvä	Vähimmäisarvo tai tyydyttävä	Välttävä (taajama)
30	400	300	250
40	850	650	450
50	1500	1100	750
60	2300	1700	1300
70	3300	2500	1800
80	4500	3300	2300
100	5400	4400	4000
120	7300	6700	

Kahden kohtaavan ajoneuvon kuljettajat pystyvät näkemään toisensa kohtaamisnäkemän mittaisen matkan etäisyydeltä. (Liikennevirasto 2013c) Taulukossa 8 on esitetty kohtaamisnäkemän arvot suunnittelunopeuksittain.

Taulukko 8. Kohtaamisnäkemän arvot suunnittelunopeuksittain (Liikennevirasto 2013c).

Suunnittelu- nopeus (km/h)	Kohtaamisnäkemä (m)		
	Ohjearvo tai hyvä	Vähim- mäisarvo tai tyydyt- tävä	Välttävä (taajama)
30	60	50	40
40	90	70	60
50	140	110	90
60	200	150	130
70	260	190	
80	320	240	
100	430	360	

Sallitut pituuskaltevuuden arvot riippuvat siitä, onko tieosilla liittymiä. (Liikennevirasto 2013c) Taulukossa 9 on esitetty pituuskaltevuuden maksimiarvot tieluokittain tieosuuk-
silla, joilla ei ole liittymiä.

Taulukko 9. Pituuskaltevuuden maksimiarvot tielinjalla tieluokittain (Liikennevirasto 2013c).

Tieluokka	Pituuskaltevuus (%)		
	Ohjearvo tai hyvä	Enim- mäisarvo tai tyydyt- tävä	Välttävä (taajama)
Moottori- ja moottoriliik- kennetie	4	5	5
Valta- ja kantatie	5	6	6
Seututie	7	9 (7 ¹)	7
Yhdystie	10	12 (10 ¹)	10 (12)

Ohjeellisia *peruspoikkileikkauksia* on määritetty yksi- ja kaksiajorataisille teille yleisesti käytettäväksi. Peruspoikkileikkauksilla ilmaistaan ajoradan ja pientareen yhteysleveys sekä ajoradan leveys. Lisäksi kaksiajorataisella tiellä ilmaistaan ajoratojen määrä ja ajosuuntien erottelutapa. Näitä poikkileikkauksia voidaan käyttää tiettyjen edellytysten täytyessä. Poikkileikkauksien valintaan vaikuttavat esimerkiksi liikennemäärä, ajoratojen lukumäärä ja käytettävissä oleva tila. (Liikennevirasto 2013a)

2.8 Päätelmät teiden ja ratojen suunnittelusta

Teiden ja ratojen suunnitteluun vaikuttavat megatrendit, lait ja asetukset, suunnitteluvaihe, kustannushallinta, infran tietomallinnus, suunnittelun lähtötiedot sekä suunnitteleluohjeet ja -parametrit. Nämä tekijät luovat ikään kuin suunnittelulle raamit, joiden sisällä suunnittelua tehdään. Kuvassa 7 esitetään teiden ja ratojen suunnitteluun vaikuttavia tekijöitä.



Kuva 7. Teiden ja ratojen suunnitteluun vaikuttavat tekijät.

Merkittävimpiä *megatrendejä*, jotka vaikuttavat liikenteeseen ja infrastruktuuriin ovat ilmastonmuutos, digitalisaatio, teknologinen kehitys ja kaupungistuminen. Nämä tulevat näkymään tulevaisuudessa liikenteessä ja infrastruktuurissa erilaisin tavoin, ja vaikuttavat todennäköisesti myös suunnitteluun. Megatrendit voivat vaikuttaa suunnitteluun esimerkiksi parantamishankkeiden määrän kasvuna, väylähankkeiden keskittymisenä kaupunkiseuduille ja niiden lähistöille sekä erilaisin muutoksina suunnitteluparametreihin.

Suunnittelulle ja ohjelmistolle voi tulevaisuudessa tulla uusia vaatimuksia ja huomioitava asioita. Esimerkiksi ympäristönäkökohtien huomioiminen voi johtaa siihen, että hiilidioksidipäästöjä aletaan vertailemaan yhä aikaisemmassa vaiheessa hanketta. Koska aikaisessa vaiheessa hanketta on taloudellisesti kannattavampaa puuttua suunnitteluun liittyviin seikkoihin, voi tulevaisuudessa tulla ilmi myös muita seikkoja, jotka halutaan huomioida suunnittelun alkuvaiheista lähtien. Tämä voi asettaa vaatimuksia ja toiveita niin suunnittelulle kuin suunnittelussa käytettäville ohjelmistoillekin.

Tulevaisuudessa digitalisaation ja teknologisen kehityksen myötä suunnittelun osia voidaan alkaa automatisoimaan entistä enemmän. Varsinkin rutiininomaisia töitä voidaan automatisoida, jotta suunnittelijoiden aikaa vapautuu muihin töihin. Tämä voi synnyttää uusia tarpeita ohjelmistoille ja niiden toiminnoille. Tyypillisesti väylälinjauksia ei ole optimoitu ohjelmistoilla vaan asiantuntija-arvioiden perusteella manuaalisesti. Mikäli

väylälinjauksia voitaisiin optimoida ohjelmistoja apua käyttämällä, voisi perinteisesti siihen kulunutta aikaa hyödyntää muilla tavoilla.

Lait ja asetukset luovat perustan Suomessa tapahtuvalle suunnittelulle. Laeilla ja asetuksilla määrätään ja ohjataan esimerkiksi alueiden käyttöä ja suunnittelua sekä maanteiden ja rautateiden suunnittelua, suunnitteluvaiheita ja sisältöä. Maanteiden ja rautateiden ylläpitämisestä vastaa Väylä. Kuitenkin maanteiden tienpidosta vastaavat ELY-keskukset omilla alueillaan Väylän ohjeistuksen mukaisesti.

Suunnitteluvaihe vaikuttaa suunnittelutarkkuuteen. Yleensä varsinaisia suunnitteluvaiheita ovat esi-, yleis-, tie- tai rata- ja rakennussuunnitteluvaiheet. Vaihtoehtojen vertailua tehdään niin esi-, yleis- kuin tie- ja ratasuunnitteluvaiheissakin. Muun suunnittelun tavoin vaihtoehtojen vertailu tarkentuu suunnitteluvaiheen tarkentuessa. Väylälinjausten optimointiin soveltuvaa ohjelmistoa voitaisiinkin mahdollisesti hyödyntää parhaiten näissä suunnitteluvaiheissa. Lakisääteisiä suunnitteluvaiheita ovat yleis- ja tie- tai ratasuunnitteluvaiheet. Ainoastaan nämä suunnitteluvaiheet siis sisältävät oikeusvaikutuksia. Suunnitteluvaiheet riippuvat hankkeesta, ja hankkeesta riippuen kaikkia suunnitteluvaiheita ei välttämättä aina toteuteta. Näin ollen siis myös se, missä suunnitteluvaiheessa väylälinjausten optimointiohjelmistoa voitaisiin hyödyntää, riippuu hankkeesta.

Suunnittelua toteutetaan samanaikaisesti maankäytön suunnittelun kanssa. Maakuntakaavoituksesta vastaavat maakunnat, kun taas yleis- ja asemakaavoituksesta vastaavat kunnat. Linjauksen sijaintiin otetaan yleensä kantaa varsinaisten suunnitteluvaiheiden lisäksi maankäytön suunnittelussa. Näin ollen myös niissä voisi olla käyttöä optimointiohjelmitoille. Väylä, ELY-keskukset, maakunnat ja kunnat tilaavat suunnitelmat ja selvitykset niitä teettäviltä suunnittelutoimistoilta. Väylä, ELY-keskukset, maakunnat ja kunnat voivat tilaajina vaikuttaa suunnitelmissa huomioitaviin asioihin.

Kustannushallinnalla pyritään kustannusohjattuun suunnitteluun. Kaikkia hankkeita ei pystytä määrätyn budjetin rajoissa toteuttamaan, joten kustannusarvioilla on suuri merkitys hankkeiden etenemiseen. Tämän takia kustannusarvioilla on suuri merkitys suunnittelussa. Kustannushallinnassa on hyödynnetty vuodesta 2008 lähtien Fore-palvelun ohjelmistoja ja hinnastoja. Nämä on kuitenkin tarkoitus korvata vuosina 2019-2020 vaiheittain käyttöön otettavalla Ihku-allianssin kehittämällä kustannuslaskentajärjestelmällä. Ihku-allianssi tarjoaakin oivan tilaisuuden kustannuslaskennan ja suunnitteluohjelmistojen, myös väylälinjausten optimointiohjelmistojen yhteensovittamiseen.

Infran tietomallintamisella pyritään hukkатыön välttämiseen, kun kertaalleen suunniteltua tietoa voidaan hyödyntää muissa suunnitteluvaiheissa tietoa menettämättä. Teknologian kehittyessä myös tietomallinnus kehittyy. Suurimpia tietomallintamisen hyötyjä ovat suunnitelmien, tehokkuuden ja tuottavuuden parantuminen. Tietomallintamisen hyödyt kasvavat, mitä aiemmassa vaiheessa suunnittelua niitä aletaan hyödyntämään. Toisaalta taas suunnitteluvaihekohtaisesti suurimmat hyödyt tietomallintamisesta ovat vasta

rakennussuunnitteluvaiheessa. Kuitenkin kaikissa suunnitteluvaiheissa koetaan hyötyjä tietomallintamisesta. Suunnitteluvaihekohtaisesti koetut hyödyt tietomallintamisesta riippuvat paljon käytetyistä työkaluista ja menetelmistä. Tämän takia työkalujen ja menetelmien kehittyessä myös koetut hyödyt voivat kasvaa.

Tarvittavien *lähtötietojen* määrä ja laatu riippuu suunnittelukohteesta ja -vaiheesta. Lähtötiedoiksi tarvittavat tutkimukset, selvitykset ja mittaukset voidaan laatia, tilata tai hankkia muilla tavoin. Nykyään useat lähtötiedoiksi sopivat aineistot ovat saatavissa avoimesta datasta. Avoimen datan aineistoja hyödyntämällä lähtötiedot voidaan saada nopeasti käyttöön oikeassa formaatissa. Avoimien aineistojen hyödyntäminen voikin nopeuttaa lähtötietojen hankintaa ja näin suunnittelu päästään aloittamaan nopeammin.

Suunnitteluohjeet ja -parametrit ohjaavat suunnittelua ja asettavat sille rajoitteita. Suunnitteluohjeet määrittävät periaatteet, joiden mukaan vaihtoehdot tulee muodostaa. Vaihtoehdot muodostetaan näiden periaatteiden sekä suunnitteluparametrien mukaan. Optimointiohjelmiston siis pitäisi pystyä muodostamaan väylälinjaukset näiden periaatteiden mukaan. Optimointiohjelmistoon täytyisi myös pystyä määrittämään samat arvot, jotka huomioidaan perinteisillä menetelmillä suunnittelua tehdessä.

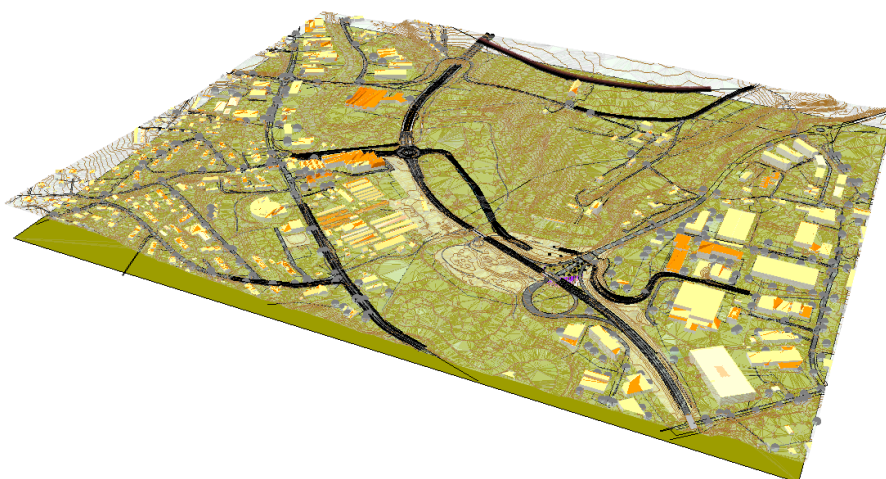
3. LINJAUSTEN OPTIMOINTIIN SOVELTUVAT OHJELMISTOT

3.1 Teiden ja ratojen suunnitteluohjelmistot

Seuraavaksi perehdytään Suomessa käytössä oleviin teiden ja ratojen suunnitteluohjelmistoihin. Suunnitteluohjelmistoista perehdytään Trimble Novapointiin, Tekla Civiliin, Bentley OpenRail Designeriin ja Bentley OpenRoads Designeriin. Teiden ja ratojen suunnitteluohjelmistoihin perehtymällä pyritään selvittämään, onko niissä väylälinjausten optimointiin soveltuvia työkaluja.

3.1.1 Trimble Novapoint

Trimble Novapoint on infrarakentamisen suunnittelujärjestelmä. Novapoint-suunnittelujärjestelmä sisältää ohjelmistot teiden ja ratojen yksityiskohtaiseen suunnitteluun. (Civilpoint 2019d) Trimble Novapointissa voidaan suunnittelun avuksi tuoda lähtötietoja kuten maanpinta, maalajipintoja ja ilmakuvia (Civilpoint 2019c). Novapointissa voidaan suunnitella tie- ja ratalinjauksia, luoda väylämalli halutuin asetuksin sekä muokata rakennekerroksia (Civilpoint 2018a; Civilpointi 2018b). Lisäksi suunnitelmaan voidaan liittää väylään liittyvät rakenteet kuten liittymät, rampit ja linja-autopysäkit (Civilpoint 2019d). Tehdyt suunnitelmat visualisoidaan kolmiulotteisesti (Civilpoint 2019c). Kuvassa 8 on esimerkki Novapoint-suunnittelujärjestelmän projektista, jossa on mallinnettuna teitä ja rakennuksia.



Kuva 8. Suunnittelu Novapointilla.

Novapoint-suunnittelujärjestelmän työkaluja voidaan käyttää hankkeen eri vaiheissa. Novapointilla tehdään niin yleissuunnittelua kuin tarkempaakin suunnittelua. Novapointilla

voidaan laatia suunnitelmia pienemmistä projekteista suurimpiin projekteihin (Civilpoint 2019d).

Varsinaista automatisoitua toimintoa väylälinjausten etsintään Novapoint-ohjelmistossa ei ole. Väylän vaaka- ja pystygeometrian suunnittelu perustuu manuaalisiin toimenpiteisiin (Civilpoint 2018a; Civilpoint 2018b). Ohjelmistosta kuitenkin löytyy toiminto geometrian optimointiin. Toiminnoissa lähtötietona käytetään mitattuja pisteitä esimerkiksi väylän mittalinjalta tai radan keskilinjalta. (Civilpoint 2018a) Diagrammien avulla nähdään, kuinka lähellä ollaan parasta ratkaisua mitattujen pisteiden suhteen. Lisäksi ohjelmistosta löytyy toiminto, jolla pystygeometria pyrkii seuraamaan mahdollisimman hyvin maanpintaa käyttäjän määrittämällä parametreillä. Toiminto ei kuitenkaan varsinaisesti etsi kustannustehokkainta linjausta vaan se pyrkii noudattamaan maaston muotoja.

3.1.2 Tekla Civil

Tekla Civil on ohjelmisto infrarakentamisen tietomallintamiseen ja yksityiskohtaiseen suunnitteluun. Tekla Civil sisältää ohjelmiston teiden ja rautateiden suunnitteluun. Suunnittelun avuksi voidaan tuoda erilaisia lähtöaineistoja kuten maanpinta ja maalajipintoja. Tehdyt suunnitelmat visualisoidaan kolmiulotteisesti. Tekla Civilia voidaan käyttää eri suuruisten projektien laatimiseen. (Tekla 2019) Tekla Civil soveltuu yleissuunnittelutasolle sekä tarkempaan suunnitteluun.

Tekla Civilillä voidaan suunnitella väylien linjauksia. Ohjelmistolla on mahdollista suunnitella väylien rakenteita aina luonnostelusta viimeistelyyn. Tekla Civil-ohjelmistolla voidaan myös suunnitella esimerkiksi liittymiä ja pysäköintialueita. (Tekla 2019) Kuitenkaan Tekla Civilissä ei ole automatisoituja toimintoja väylälinjausten optimointiin.

3.1.3 Bentley OpenRail Designer ja Bentley OpenRoads Designer

Bentley OpenRail Designer-ohjelmisto sisältää toiminnot rautateiden suunnittelemiseen (Bentley 2019a). Toiminnot teiden suunnittelemiseen löytyy Bentley OpenRoads Designer-ohjelmistosta (Bentley 2019b). Ohjelmistoissa on toiminnot esimerkiksi geometrian luomiseen, maastokäytävän luontiin ja analysoimiseen sekä profiilien ja poikkileikkausten luomiseen (Bentley 2019a; Bentley 2019b). Bentley OpenRail Designerilla voidaan luoda lisäksi esimerkiksi ratapihat, asemat ja radan yläpuolisten rakenteet (Bentley 2019a). Suunnitelmat voidaan visualisoida 3D-mallissa. (Bentley 2019a; Bentley 2019b) Kuvassa 9 on esimerkki luotijunaprojektin 3D-mallin visualisoinnista.



Kuva 9. Suunnittelu Bentley OpenRail Designer-ohjelmistolla luotijunaprojektissa (Rail Analysis India 2018).

Ohjelmistoilla voidaan luoda vaaka- ja pystygeometria. Varsinaisia automaattisia toimintoja tähän ei ole vaan ne tulee määrittää manuaalisesti. Kun geometria on luotu, voidaan luoda maastokäytävä halutulla poikkileikkauksella. Ohjelmisto soveltuu suunnittelusta ja rakentamisesta käyttöönottoon ja valmistumiseen. Ohjelmistoa voidaan käyttää niin alustavaan kuin tarkkaankin suunnitteluun. (Bentley 2019a; Bentley 2019b)

3.2 Trimble Quantm

Trimble Quantm on väylälinjausten optimointiin tarkoitettu työkalu. Ohjelmisto tuottaa alhaisen kustannustason linjauksia, jotka täyttävät määritellyt rajoitteet. (Trimble 2018d) Quantmin optimointitekniikka tuottaa miljoonia vaihtoehtoisia linjauksia, joista palauteaan haluttu määrä linjauksia tarkasteltavaksi (Trimble 2019b). Ohjelmiston peruseriaate on sama sekä tie- että ratasuunnittelussa (Trimble 2018d).

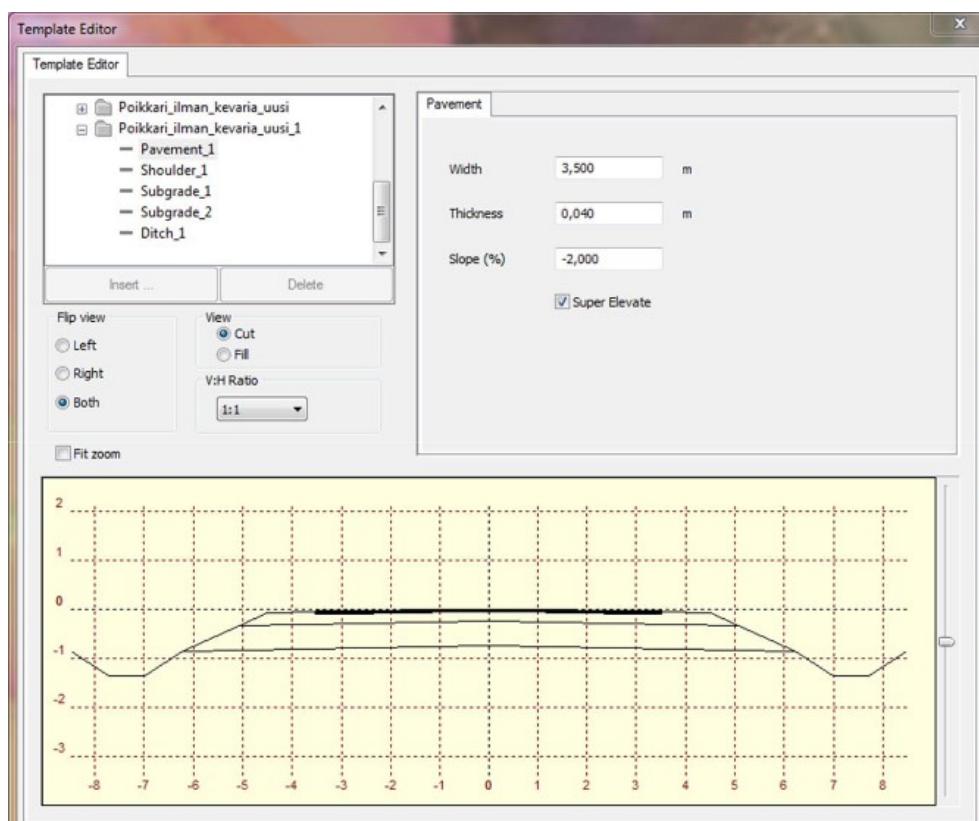
3.2.1 Lähtötiedot

Projektin luominen aloitetaan maastomallin tuomisella. Maastomallin koordinaattijärjestelmä määrittää projektissa käytettävän koordinaattijärjestelmän. Usean maastomalliaineiston tuominen ohjelmistoon samanaikaisesti on mahdollista. Näin ollen käytettäessä useampia maastomalleja niitä ei tarvitse yhdistää toisella ohjelmistolla ennen niiden viemistä Quantmiin. (Tuohilampi 2018) Maastomalli ja koordinaattijärjestelmä luovat perustan projektille.

Suunnittelun tueksi voidaan tuoda ilmakuvia ja taustakarttoja. Ohjelmistoon tuotavien ilmakuvien ja taustakarttojen tulee olla ecw -formaattissa (Tuohilampi 2018). Ohjelmistoon

määritetään alku- ja loppupisteiden sijainnit, joiden välille linjausvaihtoehdot tehdään (Trimble 2017). Muita ohjelmistoon syötettäviä lähtötietoja ovat geologiaan ja kustannuksiin liittyvät tiedot sekä geometriset raja-arvot, ominaisuustiedot ja rajoitukset. (Trimble 2018d)

Ohjelmistossa voidaan luoda erilaisia poikkileikkauksia, joiden mukaan kustannukset määräytyvät. Poikkileikkauksia määriteltäessä väylälle voidaan asettaa kulutuspinnan tai raiteen lisäksi rakennekerroksia, oja, pientareita ja suojapenkereitä. Poikkileikkaus on mahdollista määrittää erikseen oikealle ja vasemmalle puolelle tai kerralla molemmille puolille. Suunnittelualueella voidaan käyttää useampaa kuin yhtä erilaista poikkileikkausta. (Tuohilampi 2018) Kerran määritettyä poikkileikkausta on mahdollista hyödyntää suunnittelussa myöhemmin, sillä käytetyt poikkileikkaukset tallentuvat ohjelmistoon. Hyödyntäminen onnistuu saman projektin lisäksi myös toisissa projekteissa. (Trimble 2017) Kuvassa 10 on esimerkki tien poikkileikkauksen määrittämisestä Quantmin poikkileikkaustoiminnolla.



Kuva 10. Tien poikkileikkauksen määrittäminen Quantmilla (Tuohilampi 2018).

Suunniteltavalle väylälinjaukselle on mahdollista määrittää geometrisia raja-arvoja. Ohjelmisto rakentaa väylän syötettyjen raja-arvojen perusteella. (Tuohilampi 2018) Geometrialle voi syöttää erilaisia arvoja niin vaaka- kuin pystygeometriaankin liittyen.

Kustannus-asetuksissa määritellään yksikköhinnat, joiden avulla kustannukset lasketaan. Kustannus-asetuksissa määritellään lisäksi alueen geologiatiedot. Oletuskustannukset on

määritelty ohjelmistoon ennalta, mutta kustannuksissa kannattaa käyttää muutettuja arvoja ennen optimoinnin aloittamista mahdollisimman todennukaisen kustannusarvion aikaansaamiseksi. (Tuohilampi 2018) Quantm ei kuitenkaan ole varsinainen kustannuslaskentaohjelma. Quantmilla vertaillaan vaihtoehtojen välisiä kustannuksia keskenään. Varsinainen kustannuslaskenta tulisi tehdä muita menetelmiä hyödyntäen, jotta varmistetaan kustannusarvioiden oikeellisuus.

Suunnittelualueelle voidaan määrittää erilaisia aluemaisia tai viivamaisia ominaisuuksia, jotka vaikuttavat suunniteltaviin linjausvaihtoehtoihin ominaisuustietojensa vuoksi. Kohteet voidaan määrittää ohjelmistoon manuaalisesti sen omia työkaluja hyödyntäen tai vaihtoehtoisesti kohteita sisältävä tiedosto voidaan lukea ohjelmistoon sisään. (Tuohilampi 2018) Kohteita voidaan tuoda useissa eri formaateissa, joita ovat:

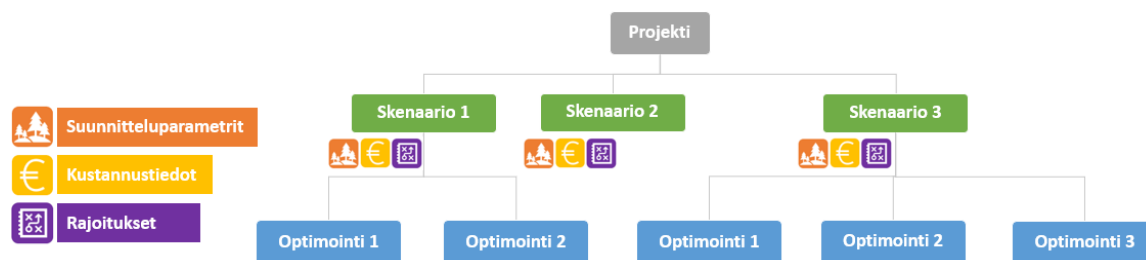
- Autodesk DWG, DXF
- DGN tiedostot
- ESRI Shapefile
- I-model (ICM)
- XY(Z) string
- 12D
- MX Genio. (Trimble 2018d).

Ohjelmistoon määritettäviä aluemaisia ominaisuuksia on erilaisia. Esimerkiksi vältettäville alueille, kustannusalueille, vesialueille ja kiinteistöjen lunastukseen liittyville alueille on omat vaihtoehdonsa. Kaikkien aluetyyppien vaikutusalueeksi voidaan määrittää jokin tietty alue tai koko suunnittelualue. Viivamaisten ominaisuuksien avulla suunnittelualueelle on mahdollista luoda esimerkiksi jokia, teitä, rautateitä, putkistoja ja kaapeleita, jotka huomioidaan optimointia tehdessä. Tuotua tie- ja rautatielinjaa on mahdollista käyttää myös optimoinnin pohjalla (Tuohilampi 2018).

Ohjelmistoon on mahdollista syöttää myös muita lähtötietoja. Ohjelmistoon voidaan luoda pakkopisteitä, jonka kautta kaikkien optimoitujen linjausvaihtoehtojen tulee kulkea. Halutessaan pisteen vaikutusaluetta voi suurentaa halutun kokoiseksi. Pakkopisteitä voidaan määrittää myös useampia, jolloin kaikki optimoitavat linjausvaihtoehdot kulkevat jokaisen pakkopisteen kautta. (Tuohilampi 2018) Väylälinjaukselle voidaan asettaa lähtötiedoksi maastokäytävä, jonka sisällä sen tulee pysyä. Näin voidaan vaikuttaa siihen, miltä alueelta optimoitavia väylälinjauksia lasketaan. Ohjelmistolla on mahdollista määrittää suunnittelualueelle symboleja, jotka eivät kuitenkaan vaikuta tehtäviin optimointeihin. Symboleilla voidaan merkitä esimerkiksi julkisen palvelun kuten sairaalan paikka. (Trimble 2017)

Ohjelmistossa luodaan skenaarioita, joiden perusteella suunnittelu tehdään. Skenaarioille voidaan määrittää suunnitteluparametrit, kustannustiedot ja rajoitukset. Samoja tietoja ei tarvitse käyttää kaikissa skenaarioissa vaan käytettävät tiedot voidaan määrittää

skenaariokohtaisesti. Skenaarioittain määritetään optimoinnit, joita voidaan tehdä yhdelle skenaariolle useita. Skenaarioiden periaatteita havainnollistetaan kuvassa 11.



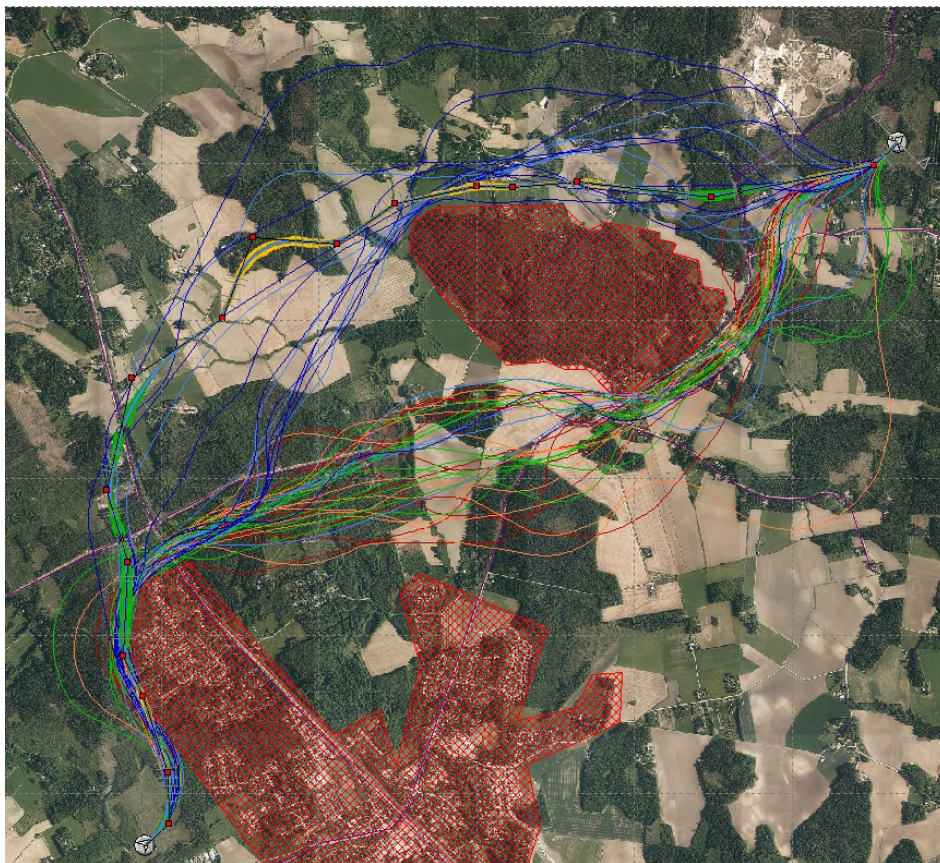
Kuva 11. Trimble Quantmissa voidaan luoda useita skenaarioita. Lähtötiedot ovat skenaariokohtaisia, joka mahdollistaa lähtötietojen muuttamisen suunnittelun aikana ketterästi.

Skenaariot mahdollistavat lähtötietoja muokkaamisen ja lisäämisen suunnittelun edetessä. Lähtötietojen tarkentuessa tai muuttuessa pystytään Quantmiin tekemään uusi skenaario, johon tarvittavat tiedot muokataan. Quantm onkin eräänlainen tietopankki, johon voidaan tallentaa lähtötietoja suunnittelun edetessä. Tämä mahdollistaa kattavat perustellut valitut vaihtoehdot, kun kaikki päätökseen vaikuttaneet tekijät pystytään esittämään helposti yhdestä paikasta (Trimble 2019b).

3.2.2 Linjausten optimointi

Trimble Quantm -ohjelmistossa on neljä erilaista tapaa suorittaa optimointeja. Näistä yksinkertaisimmalla, Create Alignment -toiminnolla, voidaan manuaalisesti hahmotella viiva päätepisteiden välille, josta ohjelmisto tekee väylälinjauksen annetut lähtötiedot huomioiden. (Trimble 2017) Muissa optimointitavoissa on mahdollista määrittää lasketavien linjausvaihtoehtojen lukumäärä (Tuohilampi 2018).

Corridor Identification -toiminnolla voidaan laskea kustannustehokkain reitti halutulta alueelta. Ohjelmistolla voidaan optimoida linjauksia koko suunnittelualueelta. Vaihtoehtoisesti voidaan määrittää manuaalisesti suunnittelualueelle jokin linja, jota käytetään optimoinnin pohjalla. (Tuohilampi 2018) Kuvassa 12 havainnollistetaan ohjelmistolla tapahtuvaa optimointia Corridor Identification -toiminnolla niin, että ohjelmisto käyttää koko suunnittelualueen linjauksen optimoimiseen. Kuvan tilanteessa on optimoitu 25 linjausta ja lähtötiedoiksi määritetty maastomallin, ilmakuvan sekä kustannus-, geometria- ja poikkileikkaustietojen lisäksi vältettävät alueet ja nykyiset tiet. Punaiset alueet kuvaavat vältettäviä alueita ja eriväriset viivat optimoituja vaihtoehtoja.



Kuva 12. *Optimointi Corridor Identification -työkalulla. Punaiset alueet kuvastavat vältettäviä alueita ja eriväriset viivat optimoituja vaihtoehtoja.*

Mikäli optimointi tehdään ohjelmistolla alusta alkaen, optimointi aloitetaan Create Alignment tai Corridor Identification -toiminnolla. Tämän jälkeen suunnittelua voidaan jatkaa muilla tarkentavilla optimointimenetelmillä, joita ovat Seeded Submission ja Realignment Submission. Näissä kummassakin optimointivaihtoehdossa on mahdollista hyödyntää myös ohjelmistoon sisään luettua geometriaa. (Trimble 2017)

Sekä Seeded Submission että Realignment Submission -toiminnoilla voidaan hakea vaihtoehtoja kauempaa nykyisestä linjauksesta, niin että pysytään kuitenkin nykyisen linjauksen läheisyydessä. Vaihtoehtoisesti optimointimenetelmillä voidaan pitää nykyisen linjauksen vaaka- ja pystygeometrian kaarien ja suorien muutospisteiden lukumäärä samana ja näiden rajoittamana etsiä uutta linjausta. Seeded Submission -vaihtoehdolla on lisäksi mahdollista optimoida pelkästään linjauksen tasaus tai määrittää vain tietty osa väylästä uudelleen optimoitavaksi. Realignment Submission -vaihtoehto on tarkoitettu käytettäväksi nykyisen tien parantamiseen. Realignment Submission -toiminnossa kustannukset lasketaan vain muuttuvilta tieosilta. Nykyisellään säilyviä tieosia ei näin ollen lasketa kustannuksiin mukaan. (Tuohilampi 2018)

Quantmissa ei periaatteessa ole maksimimäärää sille, kuinka monta linjausta voi kerralla optimoida. Optimoitavien linjausten määrä kuitenkin on riippuvainen valitusta toiminnosta. Yleensä optimoitavien linjausten määrä vähenee tarkempaan optimointiin

mentäessä. Esimerkiksi Create Alignment-toiminnolla vaihtoehtoja optimoidessa määrä voi olla 100, Seeded Submissionilla vaaka- ja pystygeometriaa optimoitaessa määrä voi olla 50 ja pelkkää pystygeometriaa optimoitaessa se voi olla 25.

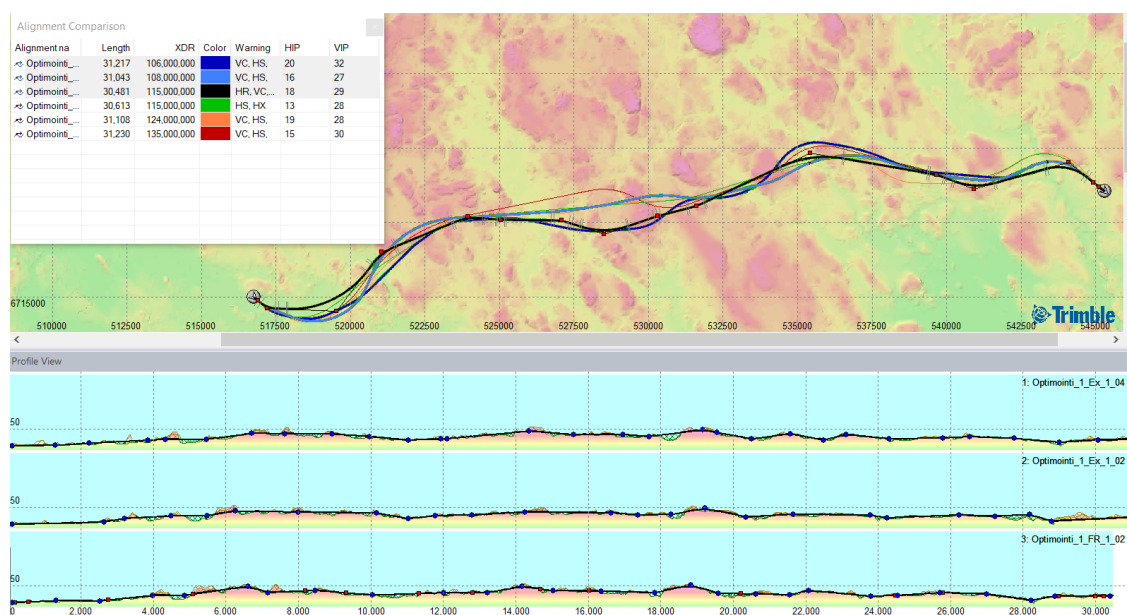
Yksi suurimmista väärinkäsityksistä on, että Quantmia voidaan hyödyntää ainoastaan pitkissä projekteissa (H3). Quantmilla voidaan optimoida linjauksia, joiden pituus on yli 2 kilometriä. Ylärajaa linjauksen pituudella ei ole. (Trimble 2018e; H1) Quantmilla optimoitavan linjauksen optimaalista pituutta on mahdotonta määrittää, sillä se riippuu paljon hankkeesta. Esimerkiksi hankkeen rajaavien lähtötietojen määrä ja tarkkuustaso vaikuttavat Quantmin hyödyntämismahdollisuuksiin hankkeessa. (H3)

Optimointiin kuluva aika riippuu linjauksen pituudesta sekä optimoitavien linjausten lukumäärästä. Optimointi kuitenkin tapahtuu Quantmin avulla perinteistä suunnittelua nopeammin (Tuohilampi 2018, Trimble 2018c). Esimerkiksi pilottiprojektissa 50:n vaihtoehdon optimoimiseen kului aikaa noin 20 minuuttia (Tuohilampi 2018).

Optimoitujen linjausten vaaka- ja pystygeometrioita voidaan muokata ohjelmistossa manuaalisesti. Quantm -ohjelmisto ei kuitenkaan ole varsinainen suunnitteluohjelmisto. Näin ollen ohjelmistosta saatua väylälinjausta tulee muokata vielä erillisellä suunnitteluohjelmistolla. (Trimble 2018d) Trimble Quantm -ohjelmistosta saaduissa geometrioissa voi olla esimerkiksi peräkkäisiä suoria, joten aineisto tulee tarkistaa ja muokata. Lisäksi suunnitteluohjelmistolla on hyvä tarkastella suunniteltua geometriaa myös muuten. (Tuohilampi 2018)

3.2.3 Tulosten tarkastelu ja vertailu

Trimble Quantm -ohjelmiston avulla voidaan tarkistaa ja verrata optimoituja vaihtoehtoja keskenään. Vaihtoehtoista voidaan vertailla arvioitujen kustannusten lisäksi linjausten vaaka- ja pystygeometrioita. Kaikkien optimoitujen linjausten vaakageometriat näkyvät suunnittelualueella. Optimoiduista vaihtoehtoista voidaan tarkastella samanaikaisesti niin monen linjauksen pystygeometriaa kuin halutaan. (Trimble 2017) Vaihtoehtojen vertailua Trimble Quantm -ohjelmistolla havainnollistetaan kuvassa 13.



Kuva 13. Trimble Quantm -ohjelmistolla voidaan vertailla optimoitujen vaihtoehtojen kustannusten lisäksi esimerkiksi vaaka- ja pystygeometrioita.

Vaaka- ja pystygeometrian tarkastelemisen lisäksi voidaan tarkastella optimoitujen linjausten poikkileikkauksia paaluväleittäin ja massansiirtoa. Massansiirto nähdään pystygeometrian tavoin kuvaajana. Pystygeometrian tapaan kuitenkin poikkileikkauksia ja massansiirtoa ei voida tarkastella usean vaihtoehdon kanssa samanaikaisesti. (Trimble 2017)

Vaihtoehtokohtaisesti voidaan tarkastella kustannuksien muodostumista. Jokaisen vaihtoehdon osalta nähdään esimerkiksi täyttö- ja leikkausmassat, rakennekerrosten määrät sekä siltojen ja tunnelien kokonaispituudet. Nämä tiedot voidaan tallentaa Excel-tiedostoksi. Excel -tiedostoista saatavia tietoja voidaan esimerkiksi hyödyntää kustannuslaskennassa (Tuohilampi 2018).

Optimoituja linjauksia voidaan tarkastella ja havainnollistaa ohjelmiston omalla visualisointityökalulla. Mikäli suunnitelmaan on tuotu ilmakekuva, sitä käytetään automaattisesti havainnollistamisessa. (Tuohilampi 2018) Lisäksi voidaan havainnollistaa lähtötiedoiksi määritellyt kohteet. (Trimble 2017)

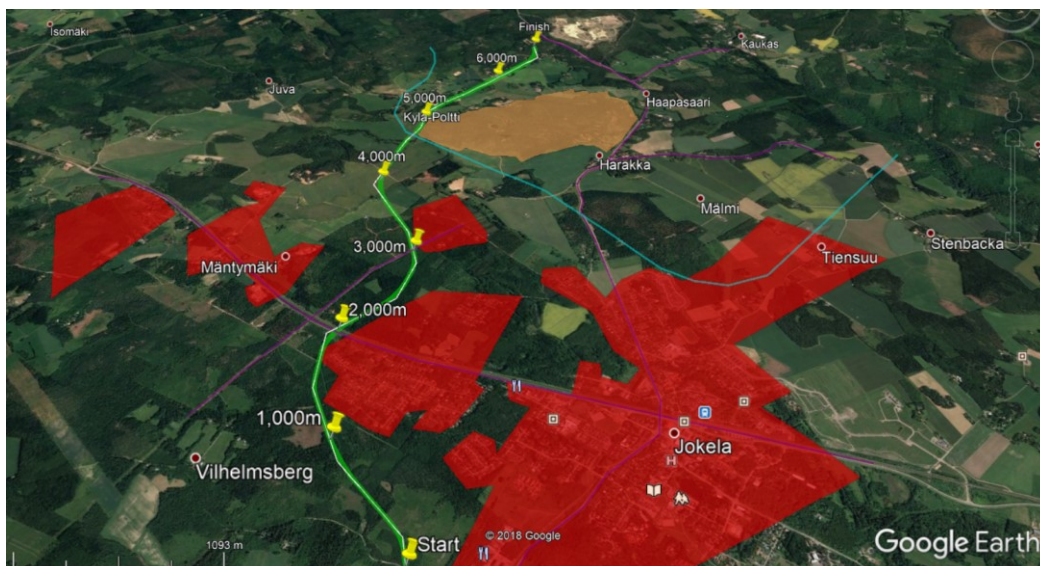
Väylää tarkastellessa visualisointityökalulla voidaan sitä pitkin lisätä kulkemaan ajoneuvoja. Ajoneuvojen määrää ja liikkumisnopeutta voidaan muuttaa. Ohjelmistossa on mukana kirjasto, joka sisältää muutamia valmiita SkechUp -malleja, joita voidaan hyödyntää havainnollistamisessa. Kirjastoa voi täydentää muualta ladatuilla tai itse luoduilla objekteilla. (Trimble 2017) Tämän avulla voidaan visualisoida esimerkiksi taloja ja rakennuksia suunnitelmien läheisyydessä. Väylää pitkin voidaan edetä itse määrätyllä nopeudella ja katselukulmaa voidaan vaihdella (Trimble 2017). Kuvassa 14 on esimerkki ohjelmiston visualisointityökalun avulla tarkastellusta vaihtoehdosta.



Kuva 14. Trimble Quantm -ohjelmiston omalla visualisointityökalulla voidaan helposti visualisoida ja havainnoida vaihtoehtoja.

Visualisointityökalulla vaihtoehtoja pystytään havainnollistamaan vaihtoehtoverailussa (H5). Vaihtoehtoja havainnollistamalla voidaan helpommin tarkastella esimerkiksi optisen ohjauksen toimivuutta (Tuohilampi 2018). Näin mahdolliset virheet huomataan helpommin aikaisessa vaiheessa, jolloin niihin voidaan puuttua ennen kuin ne vaikuttavat merkittävästi kustannuksiin (Trimble 2019b).

Quantmilla optimoitu linjaus voidaan kirjoittaa ulos Google Earth -tiedostomuodossa. Tiedosto saadaan vietyä Google Earth -ohjelmistoon. Google Earth -ohjelmistolla tarkasteltaessa väylälinjausta sen sijainti näkyy kartalla. Kartalle saadaan vietyä väylän lisäksi myös käytetyt lähtötiedot. (Trimble 2017) Kuvassa 15 on esitetty visualisointi Google Earthia hyödyntäen.



Kuva 15. Suunnitelman havainnollistaminen Google Earthilla. Google Earthiin on tuotu linjauksen lisäksi lähtötiedot.

Optimoituja vaihtoehtoja voidaan havainnollistaa helposti ja nopeasti (Tuohilampi 2018). Näin linjauksia voidaan esimerkiksi esitellä helposti tilaajalle suunnitteluprosessin aikana

(Trimble 2018c). Vaihtoehtojen havainnollistaminen onnistuu ilman lisätyötä tai panostusta suunnittelijalta.

3.2.4 Aineiston hyödyntäminen jatkosuunnittelussa

Quantm -ohjelmistossa tuotettu tieto on hyödynnettävissä myöhemmissä työvaiheissa (Civilpoint 2017). Niin suunnittelussa käytetyt lähtötiedot kuin saadut tulokset voidaan viedä suunnitteluohjelmistoihin. Quantmista voidaan kirjoittaa aineistoa ulos useissa eri formaateissa (Trimble 2018d). Tiedonsiirto ei kuitenkaan tällä hetkellä ole saumatonta.

Esimerkiksi optimoitujen väylälinjauksien geometriat voidaan kirjoittaa LandXML-formaattiin ja viedä sen jälkeen haluttuun suunnitteluohjelmistoon. Quantm-ohjelmistosta LandXML-formaattiin kirjoitettu tiedosto sisältää geometrian lisäksi poikkileikkaustiedot sekä tiedot tunneleista ja silloista. Tällä hetkellä kuitenkin näistä vain geometrian keskilinja on vietävissä suunnitteluohjelmistoihin. (Tuohilampi 2018)

Trimble on kehittämässä parempaa integraatiota Quantmin ja suunnittelujärjestelmien välille. Tarkoituksena on, että jatkossa optimoidut linjaukset päivittyisivät suoraan Trimble Quadriin. (H1) Trimble Quadri on tietomallipalvelin infrahankkeille. Quadrin avulla tiedot ovat aina saatavilla ja niitä voidaan hyödyntää reaaliaikaisesti. (Civilpoint 2019e) Quadrin avulla Quantmissa optimoidut linjaukset saataisiin esitettyä esimerkiksi Trimble Novapointissa ilman lisätoimenpiteitä (H1). Novapointin ja Tekla Civilin tuoteliitoksen kautta linjaukset voisi mahdollisesti saada myös Tekla Civiliin.

Quantmissa ei ole mahdollisuutta Inframodel sisään- tai uloskirjoitukselle. Quantm ei pysty lukemaan tuodun aineiston ominaisuustietoja vaan ne kirjataan ohjelmiston omilla työkaluilla. (Tuohilampi 2018)

3.3 Autodesk InfraWorks

InfraWorks on tietomallialusta, jossa voidaan yhdistellä paikkatieto- ja suunnitteluaineistoja. InfraWorks on tarkoitettu ensisijaisesti esisuunnittelutason suunnitteluun ja sillä voidaan luonnostella ja visualisoida infra- ja kaavaprojekteja. (Civilpoint 2019a) InfraWorks-ohjelmistoa voidaan käyttää esimerkiksi kokonaisten kaupunkien tai väyläsuunnitelmien mallinnuksiin. InfraWorksilla voidaan tuottaa visuaalisia malleja ilman erillisiä visualisointiohjelmistoja. (Future CAD 2018)

InfraWorksissa suunnittelun avuksi voidaan malliin määrittää pintamalli ja ilmakuvia. Malliin voidaan määrittää myös olemassa olevat rakenteet ja ympäristö kuten rakennukset, tiet, rautatiet, vesistöt ja puut. Luotuun malliin voidaan luonnostella rakennuksia, teitä, rautateitä, siltoja ja puustoalueita. Lisättäville ja tuotaville objekteille määritellään tyyli. Valittu tyyli määrittää sen, miltä objekti näyttää mallissa. Tyylejä voidaan muokata.

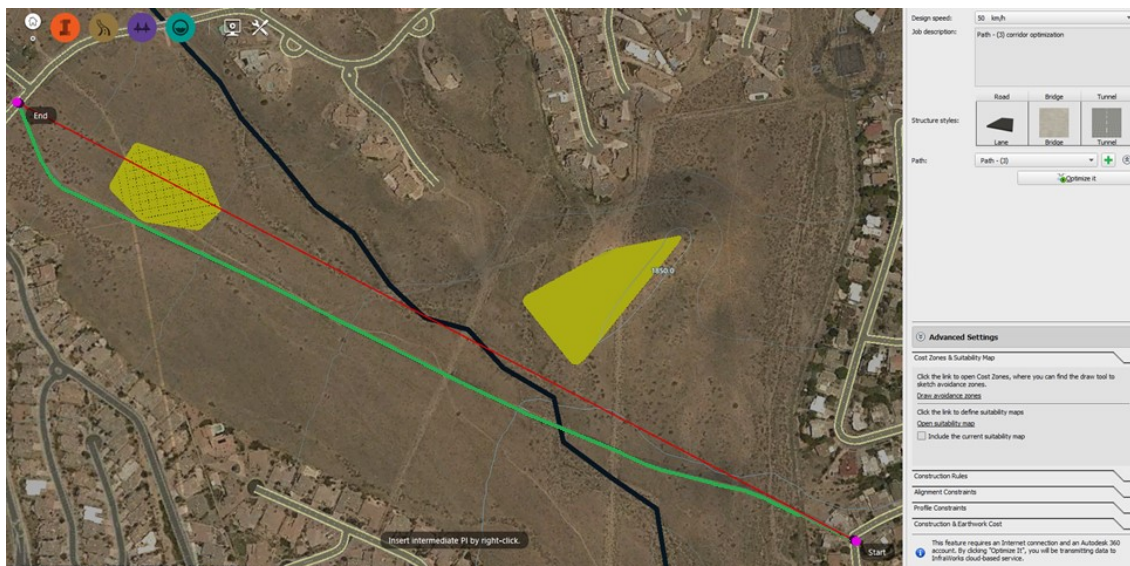
(Future CAD 2018) Kuvassa 16 on esimerkki InfraWorks-mallista, johon on määritelty rakennukset, tiet, rautatie ja puusto.



Kuva 16. *Suunnittelu InfraWorksilla.*

InfraWorksilla voidaan optimoida pystygeometria annettujen parametrien perusteella (Autodesk 2019c). Ohjelmistolla voidaan optimoida myös vaakageometria (Autodesk 2019b). Toimintoja varten on mahdollista määrittää alku- ja päätepisteet optimoinnille, suunnittelunopeus, maksimikaltevuus, ojituksen vaadittu kaltevuus, vältettävät alueet sekä asetukset täytölle, leikkaukselle, tielle, silloille ja tunneleille. Maansiirtotöille, rakentamiselle ja materiaaleille määritetään optimoinnissa käytettävät yksikkökustannukset. (Autodesk 2019a)

Optimointi havaitsee, mikäli ylitetään muita teitä ja näille kohdille luodaan automaattisesti risteykset. Myös vesistöjen ylitykset havaitaan ja näille sijainneille luodaan sillat. Optimoinnista luodaan pdf-raportti keskilinjan profiiliin, poikkileikkausten sekä rakennus- ja maanriistokustannuksien tiedoista. Optimoitu väylä voidaan tuoda malliin ja sitä voidaan verrata muihin vaihtoehtoihin parhaan ratkaisun löytämiseksi. (Autodesk 2019a) Tien geometrian optimointia InfraWorksilla havainnollistetaan kuvassa 17. Kuvassa 17 optimoidaan tietä kahden jo olemassa olevan tien välille, kun niiden välissä on vältettävät alueet ja joki. Kuvassa on violetilla päätepisteet, vihreällä optimoitu linjaus, punaisella suoriin reitti päätepisteiden välillä ja keltaisella vältettävät alueet.



***Kuva 17.** Tien vaakageometrian optimointi InfraWorksia käyttämällä. Violetilla on alku- ja loppupisteet, vihreällä optimoitu linjaus, punaisella suorin reitti päätepisteiden välillä ja keltaisella vältettävät alueet.*

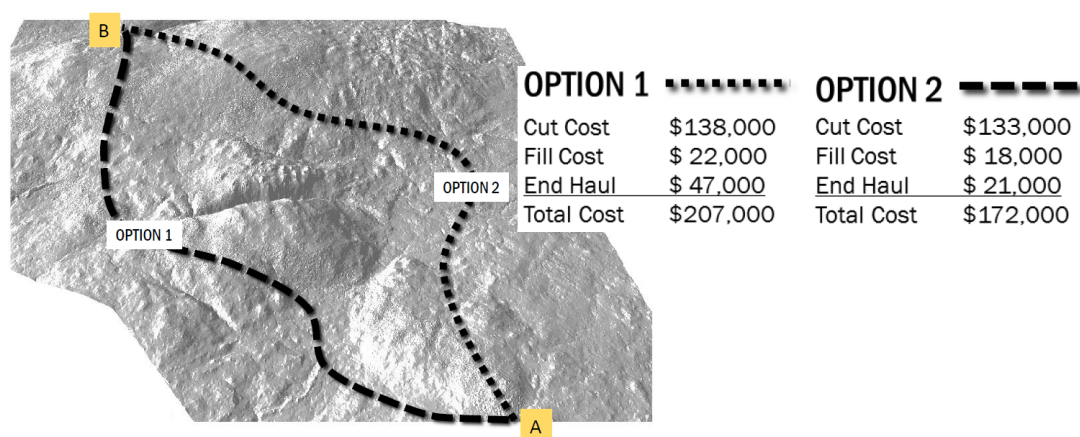
Toiminnot ovat pilvipohjaisia ja optimointien tulokset tallennetaan pilvipalveluun. Näin ollen molemmat toiminnot vaativat toimiakseen internetyhteyden ja Autodesk 360-tilin. Lisäksi pystygeometrian optimointi kuluttaa pilvikrediittejä. Ennen optimointia palvelin laskee, kuinka monta pilvikrediittiä tarvitaan optimoinnin suorittamiseen. Tarvittavien krediittien määrä riippuu optimoitavan väylän pituudesta. (Autodesk 2019a) Yksi krediitti maksaa noin yhden euron. Esimerkiksi viiden kilometrin pituisen väylän optimointi kuluttaa 100 krediittiä. Kuitenkaan maksimipituutta optimoinnille ei ole.

3.4 Softree Optimal

Softree Optimal on ohjelmisto linjauksen optimoimiseen (Softree 2019a). Ohjelmisto määrittää automaattisin tai puoliautomaattisin toiminnoin matemaattisesti geometrian tielle tai maastokäytävälle käyttäjän määrittelemiä lähtötietoja hyödyntäen (Softree 2017). Softree Optimal on saatavana lisäosana Softree RoadEng ja Autodesk AutoCAD Civil 3D -ohjelmistoille sekä Bentleyyn yhdyskuntasuunnittelun tuotteille. Linjauksen optimointi tapahtuu Softree Optimal -ohjelmiston käyttöliittymässä, mutta saadut tulokset voidaan lisäosien avulla viedä toisiin ohjelmistoihin ilman aineiston uloskirjoittamista. (Softree 2019a)

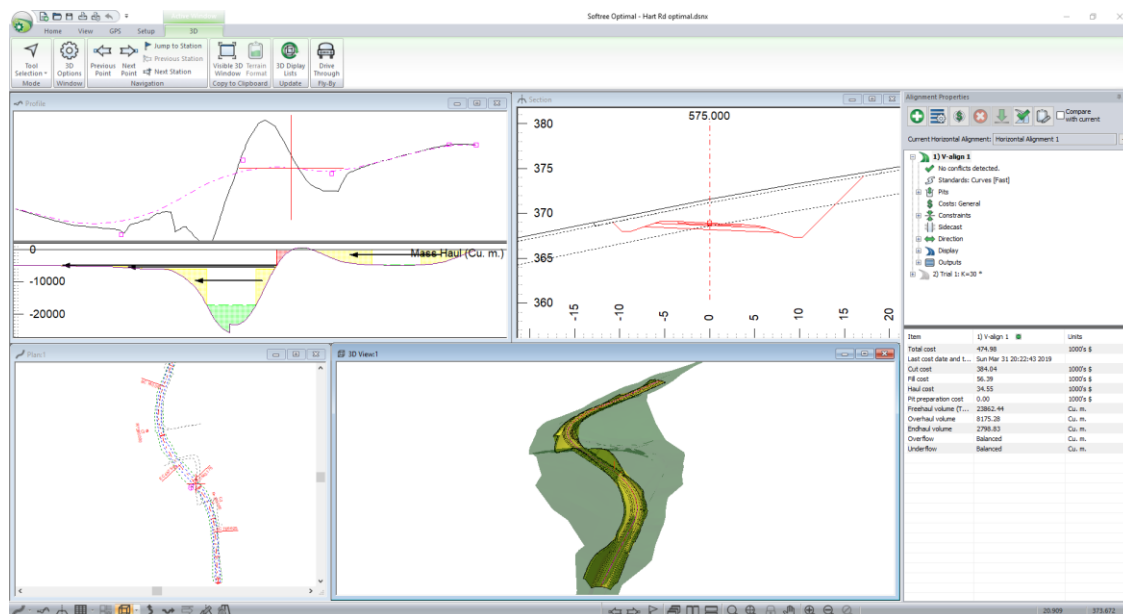
Suunnittelun lähtötiedoksi tuodaan maanpinta. Myös ilmakuvia ja karttaa korkeuskäyristä voidaan käyttää (Softree 2017). Muita määritettäviä lähtötietoja ovat suunnitteluparametrit ja kustannukset. Optimoinnin lähtötietona käytetään aina valmista geometriaa (Softree 2019a). Lisäksi ohjelmistolla voidaan määrittää alueelle geologiatiedot ja käytettävät poikkileikkaukset. Poikkileikkauksena voidaan käyttää olemassa olevaa poikkileikkausta tai poikkileikkaus voidaan määrittää ohjelmiston työkaluilla. (Softree 2017)

Softree Optimalissa pyritään mahdollisimman kustannustehokkaaseen pystygeometriaan. Ohjelmistolla voidaan tällä hetkellä tehdä ainoastaan yksi geometria kerrallaan. Risteykset ja eritasoliittymät eivät sisälly laskelmiin. Optimoitavan linjauksen tulee olla alle kymmenen kilometriä pitkä. Tätä pidemmät linjaukset voidaan optimoida osissa. (Softree 2019b) Optimointi tapahtuu pääasiassa puoliautomaattisin toimenpitein. Tämä tarkoittaa, että vaaka- ja pystygeometrian elementeille syötetään suunnittelussa käytettäviä arvoja. Geometria suunnitellaan manuaalisesti, mutta ohjelmisto ei anna muodostaa geometriaa, joka on syötettyjen arvojen vastainen. Joitakin arvoja voidaan myös määrittää ohjelmiston itse laskettavaksi. Tehtyjä vaihtoehtoja voidaan vertailla keskenään ja niistä voidaan valita kustannustehokkain vaihtoehto. Kuvassa 18 esitetään Softree Optimalilla tapahtuvan optimoinnin toimintaperiaate.



Kuva 18. Softree Optimalissa tapahtuva vaihtoehtojen vertailu (muokattu lähteestä (Speirs 2019)).

Ohjelmistossa voidaan valita erilaisista näkymistä, mitä tietoja näytetään ja miten. Tietoa voidaan esittää vaakageometriasta, pystygeometriasta ja massatasapainosta sekä poikkeileikkauksista. Linjausta voidaan tarkastella 3D-näkymässä. 3D-näkymässä voidaan liikkua tien suuntaisesti halutulla korkeudella tiestä. Optimoiduista vaihtoehdoista nähdään tarkempia tietoja esimerkiksi kustannuksista ja määristä. Softree Optimalissa voidaan valita, kuinka monta näkymää on näkyvillä ja mitkä näkymistä on aktiivisina. (Softree 2019a) Kuvassa 19 on esitetty suunnittelu Softree Optimalilla.



Kuva 19. Suunnittelu Softree Optimal -ohjelmistolla.

Softree Optimalia voidaan käyttää kaikissa suunnitteluprosessin eri vaiheissa. Ohjelmistoa voidaan myös hyödyntää olemassa olevien suunnitelmien arvioimiseen. Softree Optimal on työkalu suunnittelijoille, eikä se korvaa aihepiirin tietämystä. Suunnittelijan tehtävänä on varmistaa tehtyjen optimointien ja suunnitelmien soveltuvuus. (Softree 2017)

3.5 Ohjelmistojen ominaisuuksien vertailu ja päätelmät

Väylien suunnitteluohjelmistoissa ei varsinaisesti ole automatisoituja toimintoja väylälinjausten optimoimiseen. Niiden toiminnoilla voidaan kuitenkin suunnitella linjauksia ja maastokäytäviä. Tällä hetkellä väylien suunnittelussa käytetään väylien suunnitteluohjelmistoja, eikä niinkään väylälinjausten optimointiin soveltuvia ohjelmistoja. Näin ollen voidaankin päätellä, ettei nykyisellään käytetä ainakaan suuressa mittakaavassa väylälinjausten optimointiin soveltuvia toimintoja.

Väylälinjausten optimointiin soveltuvia ohjelmistoja on Trimble Quantmin lisäksi Autodesk InfraWorks ja Softree Optimal. Niin Autodesk InfraWorksiin, Softree Optimaliin kuin Trimble Quantmiin on mahdollista määrittää lähtötiedoiksi maanpinta, suunnittelu-parametrit sekä poikkileikkaus- ja kustannustiedot. Kaikissa kolmessa ohjelmistossa kustannustiedot on mahdollista määrittää hyvin kattavasti. Softree Optimalissa ja Trimble Quantmissa on mahdollista määrittää yksityiskohtaisesti poikkileikkaukset sekä poikkileikkauksia voidaan määrittää itse. Autodesk InfraWorksissa käytettyjä poikkileikkauksia ei voida määrittää yhtä kattavasti. Vaakageometrian rajoituksia, kuten vältettäviä alueita, on mahdollista määrittää vain Autodesk InfraWorksissa ja Trimble Quantmissa. Alueen geologiatietoja ei pystytä syöttämään InfraWorksissa, mutta se onnistuu Optimalissa ja Quantmissa. Myöskään olemassa olevaa geometriaa ei voida käyttää InfraWorksin optimoinnissa, mutta se onnistuu Optimalissa ja Quantmissa.

Suurimmat eroavaisuudet Trimble Quantmissa, Autodesk InfraWorkissa ja Softree Optimalissa on optimoinnissa. Vertailluista ohjelmistoista Quantm on ainoa ohjelmisto, jolla voidaan optimoida yhtäaikaaisesti pysty- ja vaakageometriaa. Kuitenkin Quantmilla voidaan optimoida myös ainoastaan pystygeometriaa. Autodesk InfraWorksissa ja Softree Optimalissa on erilliset toiminnot sekä pysty- että vaakageometrian optimoimiseen. Lisäksi ainoastaan Quantmilla voidaan optimoida kerralla enemmän kuin yksi linjaus. Näistä ohjelmistoista Quantmilla voidaan optimoida tie- ja ratalinjauksia. InfraWorksilla ja Optimalilla on mahdollista optimoida vain tielinjauksia.

Autodesk InfraWorkissa ja Trimble Quantmissa optimointi tapahtuu täysin automaattisin toiminnoin, jolloin lähtötietojen syöttämisen jälkeen ohjelmisto määrittää linjauksen itse. Softree Optimalissa optimointi tapahtuu pääasiassa puoliautomaattisin keinoin, joten käyttäjää tarvitaan linjauksen määrittämiseen. InfraWorkissa ja Quantmissa optimoinnit voidaan tehdä määritettyjen alku- ja loppupisteiden välillä. Optimalilla voidaan optimoida kerrallaan maksimissaan 10 kilometrin pituinen linjaus. Quantmissa ja InfraWorkissa kummassakaan ei ole maksimipituutta optimoitavalle linjaukselle. Kuitenkin InfraWorkisissa optimoinnin kustannukset määräytyvät optimoitavan linjauksen pituuden mukaan.

Kaikissa kolmessa ohjelmistossa voidaan tarkastella vaihtoehtoja kolmiulotteisesti. Kuitenkin ainoastaan InfraWorksissa ja Quantmissa väylän ympäristöä voidaan havainnollistaa esimerkiksi puuston ja rakennusten avulla. Niin InfraWorksista, Quantmista kuin Optimalista saadaan erilaisia raportteja esimerkiksi kustannuksista ja massoista. Lisäksi massatasapainoraportti saadaan näistä kaikista ohjelmistoista. Ainoastaan Softree Optimalissa saadaan tietoa optimaalisesta kuljetusmatkasta.

Autodesk InfraWorks-ohjelmistolla optimoitu linjaus saadaan esitettyä suoraan InfraWorks-mallissa. Tämän avulla sitä voidaan hyödyntää siinä tapahtuvassa suunnittelussa. Softree Optimalissa optimoitu linjaus voidaan esittää Softree RoadEng tai Civil 3D sekä Bentley'n yhdyskuntatekniikan tuotteissa lisäosan avulla ilman aineiston uloskirjoittamista. Trimble Quantm on vertailluista ohjelmistoista ainoa, jossa tiedonsiirto ei ole mahdollista ilman aineiston uloskirjoittamista. Taulukossa 10 on vertailtu Autodesk InfraWorks, Softree Optimalin ja Trimble Quantmin ominaisuuksia.

Taulukko 10. Autodesk InfraWorksin, Softree Optimalin ja Trimble Quantmin ominaisuudet.

	Autodesk InfraWorks	Softree Optimal	Trimble Quantm
Lähtötiedot			
Maanpinta	X	X	X
Geologiatiedot	-	X	X
Suunnitteluparametrit	X	X	X
Poikkileikkaukset	X	X	X
Kustannukset	X	X	X
Rajoitukset	X	-	X
Olemassa oleva geometria	-	X	X
Optimointi			
Optimointitapa	Automaattinen	Automaattinen / puoliautomaattinen	Automaattinen
Tie	X	X	X
Rata	-	-	X
Optimointi päätepisteiden välillä	X	-	X
Vaaka- ja pystygeometrian optimointi	Erilliset toiminnot	Erilliset toiminnot	Voidaan optimoida vaaka- ja pystygeometria samanaikaisesti tai pelkästään pystygeometria
Kerralla optimoitavien linjausten maksimilukumäärä	1	1	Ei ole
Linjauksen maksimipituus (km)	Ei ole, mutta optimoinnin kustannukset kasvavat pituuden kasvaessa	10	Ei ole
Tulokset			
3D visualisointi	X	X	X
Raportit	X	X	X
Massatasapaino	X	X	X
Optimaalinen kuljetusmatka	-	X	-
Tiedonsiirto	Tuloksia voidaan hyödyntää suoraan mallissa	Tulosten esittäminen Softree RoadEng tai Civil 3D -ohjelmistoissa sekä Bentleyyn ohjelmistoissa ilman aineiston uloskirjoittamista	Tiedonsiirto ei mahdollista ilman aineiston uloskirjoittamista

Toiminnallisuuksiltaan Autodesk InfraWorks, Softree Optimal ja Trimble Quantm ovat hyvin samankaltaisia. Kaikissa näissä ohjelmistoissa on oikeastaan kaikki samat toiminnallisuudet. Joiltakin osin kuitenkin Softree Optimalissa ja Trimble Quantmissa voidaan syöttää Autodesk InfraWorksia tarkempia lähtötietoja. Toiminnallisuuksia vertailemalla voidaan arvioida, että InfraWorks voisi sopia paremmin karkeaan alkuvaiheen suunnitteluun, jossa ei ole kyse kovin tarkasta suunnittelusta tai pitkästä linjauksesta. Optimal taas sopii paremmin tarkempaan suunnitteluun, jossa on tiedossa jo jonkinlainen geometria.

Kuitenkaan Autodesk InfraWorks ja Softree Optimal eivät tarjoa yhtä kattavia optimointeja kuin Quantm. Quantmin suurimpana eroavaisuutena muihin ohjelmistoihin verrattuna on, että sillä voidaan optimoida useita vaihtoehtoja kerralla. Tämä voi säästää aikaa, kun linjauksia ei tarvitse optimoida yksi kerrallaan. Vertailluista ohjelmistoista Quantm on ainoa, jolla voidaan optimoida automaattisesti vaaka- ja pystygeometriaa samanaikaisesti. Tämä erottaa Quantmin muista ohjelmistoista tehden siitä uniikin ja ainoan tämän tyyppisen ohjelmiston markkinoilla.

Ohjelmistoja vertailemalla huomataan, että ainoa suurempi puute Trimble Quantmissa Autodesk InfraWorks ja Softree Optimal -ohjelmistoihin verrattuna on se, ettei optimoitua linjausta voida hyödyntää muussa suunnittelussa ilman aineiston uloskirjoittamista. Tämä olisikin hyvä kehityskohde Trimble Quantmiin.

4. REFERENSSIKOhteet

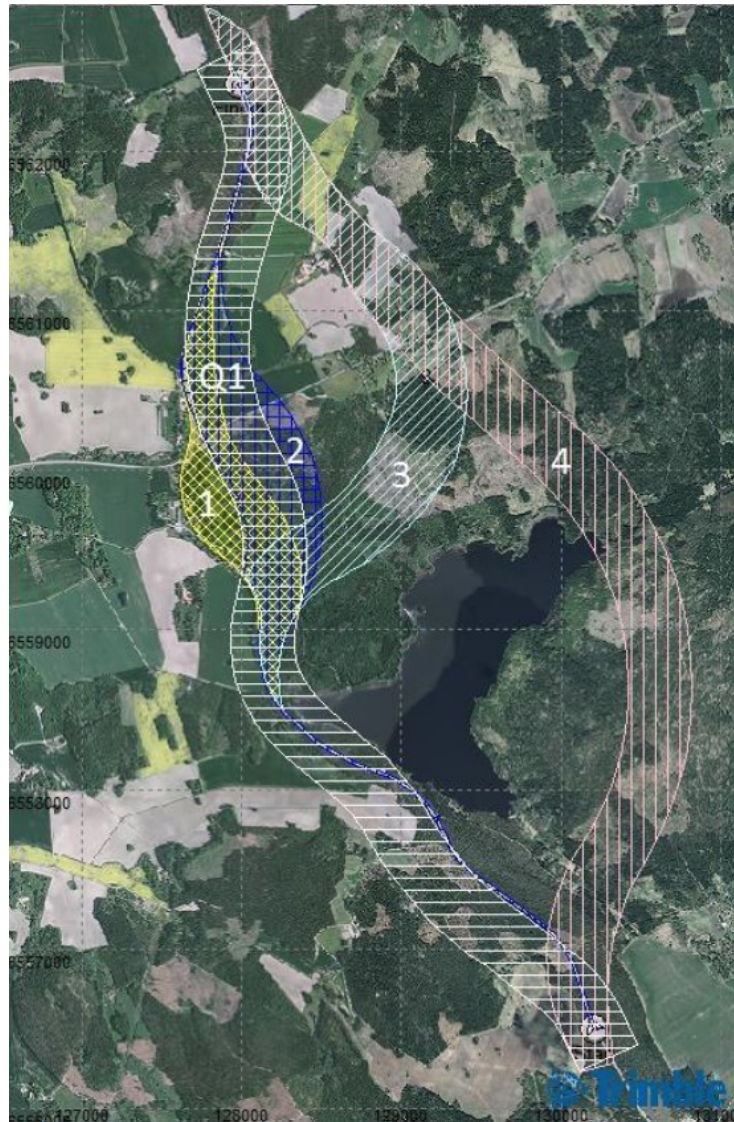
4.1 Kohteita pohjoismaissa

Pohjoismaista Quantmia käytetään suunnittelun apuvälineenä eniten Norjassa ja Ruotsissa. Tämän lisäksi Quantmia käytetään Tanskassa. (H1) Seuraavaksi esitetään muutama hanke pohjoismaista, joissa on hyödynnetty Quantmia suunnittelun apuvälineenä sekä esitetään näistä saatuja tuloksia.

4.1.1 Tie 56, Ruotsi

Tie 56 on päätie Norrköpingin ja Gävlen välillä. Tielle on suunnitteilla ohitustie, joka kiertäisi Äsin kaupungin. Ohitustietä suunnitellaan, sillä tie on tästä kohdasta hyvin vilkasliikenteinen ja erityisesti raskasta liikennettä kulkee paljon. Uuden tien pituus on noin 7 kilometriä. WSP on aiemmin suunnitellut ohitustielle neljä vaihtoehtoista maastokäytävää perinteisin menetelmin. (Olsson 2013) Olsson (2013) suunnitteli opinnäytetyönään ohitustielle maastokäytävän Quantmia hyödyntäen ja vertaili tätä käytävää WSP:n tekemiin.

WSP:n määrittämistä käytävävaihtoehtoista kolme kulkee aloituspisteestä Aspen järvelle asti nykyistä maastokäytävää mukaillen. Vaihtoehdot 1 ja 2 kulkevat pitkälti samaa maastokäytävää myös tämän jälkeen. Ainoana eroavaisuutena on, että vaihtoehdossa 1 maastokäytävä kulkee Äsin kaupungin länsipuolelta, kun vaihtoehdossa 2 maastokäytävä kulkee kaupungin itäpuolelta. Vaihtoehto 4 kulkee koko matkalta Aspen järven itäpuolella kokonaan uudessa maastokäytävässä. Vaihtoehdossa 3 maastokäytävä kulkee Aspen järven ohituksen jälkeen sen yläpuolelta liittyen samaan maastokäytävään vaihtoehdon 4 kanssa ja kulkien lopetuspisteeseen tätä käytävää pitkin. Quantmilla tehty linjaus Q1 kulkee pitkälti samaa maastokäytävää vaihtoehtojen 1 ja 2 kanssa. Kuitenkin Äsin kaupungin kohdalla vaihtoehto Q1 kulkee vaihtoehtojen 1 ja 2 keskeltä. (Olsson 2013) Kuvassa 20 on esitetty WSP:n määrittämät käytävävaihtoehdot 1-4 sekä Quantmilla määritetty maastokäytävä Q1.



Kuva 20. Perinteisin menetelmin tehty maastokäytävävaihtoehdot 1-4 sekä Quantmilla tehty vaihtoehto Q1 (Olsson 2013).

Maastokäytävävaihtoehtoja vertailemalla selvisi, että kokonaiskustannuksiltaan Quantmin avulla tehty vaihtoehto Q1 oli edullisin. Kuitenkin vaihtoehtojen 1, 2 ja 4 kustannukset olivat niin lähellä vaihtoehdon Q1 kustannuksia, että tarkempien laskelmien tekemisen jälkeen jokin näistä voi olla kokonaiskustannuksiltaan edullisin vaihtoehto. Ympäristölliset näkökohdat huomioiden lopullisen maastokäytävän kannattaisi olla jokin vaihtoehtojen 1, 2 tai Q1 mukaisista käytävistä. (Olsson 2013)

Tutkimuksen päätelminä oli, että Quantmin avulla voidaan lyhentää suunnitteluun käytettävää aikaa. Nopeiden laskelmien ansiosta suunnittelijat voivat tutkia enemmän vaihtoehtoja lyhyemmässä ajassa perinteiseen suunnitteluprosessiin verrattuna. Ohjelmistossa on potentiaalia hankkeiden kustannuksien pienentämiseen. Quantm on käyttäjäystävällinen ja helposti opeteltavissa oleva ohjelmisto, joka huomioi ympäristöarvot ja massatasapainon. Lisäksi Quantm tukee työskentelytapaa, jossa vaaka- ja pystygeometriaa suunnitellaan samanaikaisesti. (Olsson 2013)

4.1.2 Tie 77, Ruotsi

Ruotsalainen konsulttitoimisto ÅF käytti Quantmia tielinjan suunnittelemiseen hankkeessa, jossa suunniteltiin uutta tielinjausta Upsalan maakunnasta Tukholman maakuntaan teiden E4 ja E18 välille. Suunniteltavalle osuudelle oli etukäteen määritelty maastokäytävä. Annettu maastokäytävä oli noin 10 kilometriä pitkä ja 800 metriä leveä. Tälle maastokäytävälle tuli löytää optimaalinen väylälinjaus annettujen aloitus- ja päätepisteiden välille. (Trimble 2018c)

Määritelty maastokäytävä sisälsi kivistä maastoa, metsää, vesiväyliä, kulttuuriperintöalueen ja asuinkiinteistöjä rakennuksineen. Tilaajalle oli tärkeää, ettei uusi tie vaikuta kulttuuriperintöalueeseen. Tämä huomioitiin Quantmissa merkitsemällä kulttuurikohde vällettäväksi alueeksi. Muut huomioitavat kohteet merkittiin Quantmiin kustannusalueiksi, jotta ne vaikuttivat optimoitujen tielinjauksien kustannuksiin. Lisäksi väylälle määriteltiin geometria- ja kustannusparametrit. (Trimble 2018c)

Kun kaikki väylälinjaukseen vaikuttavat lähtötiedot oli syötetty Quantmiin, optimoitiin ohjelmalla sata vaihtoehtoista väylälinjausta. Vaihtoehtoihin vaikuttavat kustannuserät oli helppo hahmottaa taulukkomuotoisien kustannuslaskelmien avulla. Näistä vaihtoehtoista valittiin paras. Tämän vaihtoehdon optimoimista jatkettiin vielä kahdella uudella optimoinnilla. Ensin tehtiin 50 linjausvaihtoehtoa, jotta löydettiin sekä vaaka- että pystygeometrialle optimaalinen taitepisteiden määrä. Tämän jälkeen tehtiin uusi haku 50 linjausvaihtoehdolle, jotta näille taitepisteille löydettiin optimaaliset sijainnit. Kun optimaalinen tielinjaus löydettiin, vietiin tämä Novapointiin, jolla tehtiin yksityiskohtainen suunnittelu. (Trimble 2018c)

Hankkeessa tultiin lopputulokseen, että optimoinnin voi tehdä Quantmilla hyvin nopeasti. Hyvänä puolena pidettiin myös sitä, että kustannuslaskelmaa voidaan tarkastella Quantmissa taulukkona. Näin kustannuksien muodostuminen näyttää selkeältä ja sitä voidaan tarkastella helpommin. (Trimble 2018c)

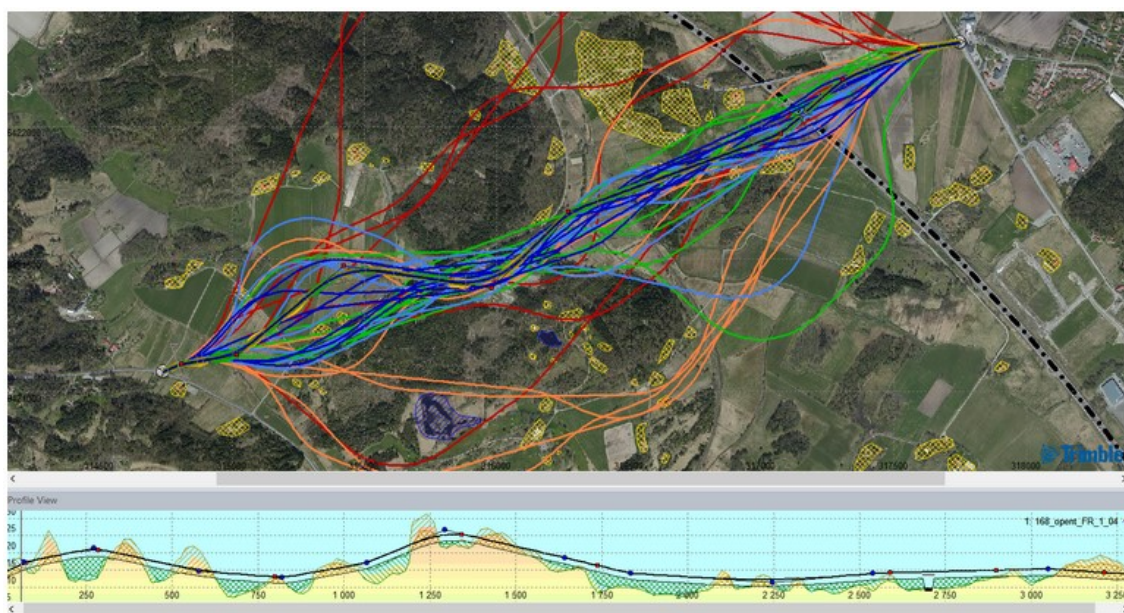
4.1.3 Tie 168, Ruotsi

Tie 168 yhdistää Marstrandin Kungälvin E6:n kanssa. Tie on varsinkin kesäisin raskaasti liikennöity, joten sitä parannetaan turvallisuuden ja saavutettavuuden takaamiseksi. (Trimble 2019a) Tielle on suunnitteilla oikaisu, jonka pituus on noin kolme kilometriä (H1). Uuden tien maastokäytävävaihtoehtoista toteutetaan suunnitelma, joka toteutetaan yhteistyössä Ruotsin liikenneministeriön ja COWI Swedenin kanssa. Suunnitelman tekemisessä käytetään Quantmia työn osien automatisoimiseen. (Trimble 2019a)

Työn tavoitteena oli löytää linjauksen lisäksi optimaaliset aloitus- ja lopetuspisteet. Optimaaliset päätepisteet etsittiin niin, että maastomalli rajattiin ainoastaan alueelle, josta linjauksien haluttiin kulkevan. Päätepisteet asetettiin maastomallin ulkopuolelle niin, että

aloituspiste oli maastomallin vasemman puoleisella sivulla ja päätepiste oikeanpuoleisella. Tämän jälkeen tehtiin ensimmäinen optimointi ilman rajoituksia. Kun päätepisteet olivat maastomallin ulkopuolisella alueella, etsittiin kustannustehokkainta ratkaisua maastomallin alueelta. Useat alhaisen kustannuksen linjaukset kulkivat samasta kohtaa, josta pystyttiin päättämään optimaalisten alku- ja lopetuspisteiden sijainnit. (H1).

Kun optimaaliset sijainnit alku- ja loppupisteille oli tiedossa, pystyttiin aloittamaan linjauksen optimointi. Tätä varten tarkasteltiin maastomallia suuremmalta alueelta. (H1) Kuvassa 21 on esitetty tehtyjen linjausoptimointien tuloksia, jossa aloitus- ja lopetuspisteet ovat tiedossa.



Kuva 21. Optimoinnin tuloksia (Trimble 2019a).

Hankkeen Quantm-työssä ollaan alkuvaiheissa, joten tarkempia tuloksia ei vielä ole esittää. Kuitenkin ohjelmistossa nähdään huomattavaa potentiaalia. Työryhmä odottaa Quantmin avulla pystyvänsä arvioivan suurempaa määrää maastokäytäviä kuin muuten. Lisäksi Trimble Quantmin odotetaan tarjoavan mahdollisuuden tietojen ja teknisten ehtojen koordinointiin tehokkaasti ja kontrolloidusti. Ruotsin liikenneministeriö uskoo, että suunnittelussa nähdään modernien työkalujen käytön hyödyt. (Trimble 2019a)

4.1.4 Tie E18, Norja

Konsulttiyritykset Asplan Viak ja Ramboll Norja suunnittelivat maastokäytävän nelikais-tatielle tien E18 väleille Dørdal-Tvedestrand ja Arendal-Grimstad. Näiden yhteysvälien yhteispituus on 75 kilometriä. Dørdal-Tvedestrand yhteysväli sijaitsee pääosin koskemattomassa luonnossa. Sen sijaan Arendal-Grimstad yhteysvälillä on jonkin verran asutusta. (Trimble 2018b)

Aluksi yhteysväleille tehtiin optimointeja ilman erityisiä rajoituksia. Lähtötietoina optimoinnille olivat maastomallin lisäksi ainoastaan maantie sekä tien, siltojen ja rakenteiden keskimääräiset kustannukset. Näin saatiin karkea katsaus vaihtoehtoista, joiden kustannukset vaihtelevat kalliimmista edullisimpiin. Karkeiden vaihtoehtojen optimoinnin jälkeen lähtötietoja tarkennettiin vaiheittain. Vähitellen malli muuttui yksityiskohtaisemmaksi ja maastokäytävien hakeminen oli tarkempaa ja optimaalisempaa. Lopputulokseksi saatiin suositeltava maastokäytävä tielle. Alussa varsin laaja maastokäytävä saatiin rajattua optimointien avulla kapeammaksi. Maastokäytävä on keskimääräisesti noin 100 metriä leveä, mutta sen leveys vaihtelee. (Trimble 2018b)

Hankkeessa Quantm koettiin hyväksi apuvälineeksi maastokäytävien etsimisessä. Hankkeessa koettiin, että Quantmin avulla ongelma-alueet vältetään varhaisessa vaiheessa ja tarvittaviin toimiin voidaan ryhtyä kustannusten minimoimiseksi. Quantmilla saadaan lyhyessä ajassa hyvä yleiskuva alueesta ja mahdollisista linjauksista. Muutamassa tunnissa voidaan saada aikaiseksi satoja linjauksia, joka on manuaalisesti mahdotonta. Quantmilla löydettiin linjauksia, joita suunnittelijat eivät olisi muuten välttämättä tulleet ajatelleeksi. Lisäksi Quantmia käytettäessä esitettävälle vaihtoehdolle on vankat perustelut sekä pysyttään paremmin esittämään, miksi muita vaihtoehtoja ei ole. (Trimble 2018b) Quantmia käyttämällä linjausten etsimisessä säästettiin huomattavasti aikaa (H1).

4.2 Muita referenssikohteita

Trimble Quantmia on pohjoismaiden lisäksi käytetty useissa projekteissa ympäri maailmaa. Quantmia on hyödynnetty eri pituisten väylien suunnittelussa niin Aasiassa, Afrikassa, Australiassa, Euroopassa, Etelä-Amerikassa kuin Pohjois-Amerikassakin (Trimble 2017).

Taulukossa 11 on esitetty erilaisia tiehankkeita maailmalta, joissa Quantmia on käytetty. Taulukossa esitetään tiehankkeiden referenssikohteiden nimet, sijainnit ja pituudet kilometreissä. Tarkastellut tielinjaukset sijaitsevat Australiassa, Espanjassa, Etelä-Afrikassa, Uudessa-Seelannissa, Espanjassa, Montenegrossa, Puolassa sekä Yhdysvalloissa. Tiehankkeiden pituudet vaihtelevat paljon. Lyhyin tielinjaus on 11 kilometriä pitkä Aucklandin ohitustie. Pisin tielinjaus on Trans Texas Corridor multi Modal, jonka pituus on 1600 kilometriä. Kaikkien vertailtujen tielinjausien mediaani on 31 kilometriä ja keskiarvo noin 168 kilometriä.

Taulukko 11. Tiehankkeiden referenssikohteiden nimet, sijainnit ja pituudet kilometreissä (muokattu lähteestä Trimble 2017).

Projekti	Sijainti	Pituus (km)
Aucklandin ohitustie	Uusi-Seelanti	11
Parbayon maksullinen tie	Espanja	14
Toowoomba itä QMR	Australia	17,5
Boulder ohitustie	Yhdysvallat	19,3
Toowoomba länsi QMR	Australia	22
Foothill South maksullinen tie	Yhdysvallat	26
Van Reenen Pass	Etelä-Afrikka	27
Hume ohitustie	Australia	35
A4 – Moottoritiekokeilu	Puola	45
Gympie ohitustie	Australia	60
De Beers Pass	Etelä-Afrikka	77
Montenegro moottoritiekokeilu (Albania – Bosnia)	Montenegro	100
Wild Coast	Etelä-Afrikka	300
TxDOT I-69 (Trans Texas Corridor multi Modal)	Yhdysvallat	1600

Tiehankkeiden tapaan myös Quantmilla tehtyjen ratalinjauksien sijainnit ja pituudet vaihtelevat. Taulukossa 12 on esitetty erilaisia ratahankkeita maailmalta, joissa Quantmia on hyödynnetty. Taulukossa esitetään ratahankkeiden referenssikohteiden nimet, sijainnit ja pituudet kilometreissä. Tarkastellut ratalinjaukset sijaitsevat Australiassa, Brasiliassa, Malesiassa, Norjassa, Kiinassa, Portugalissa, Ranskassa ja Venäjällä. Quantmilla tehdyt ratalinjaukset ovat keskimäärin pidempiä kuin mitä tielinjoukset ovat. Tarkastelluista ratalinjauksista lyhyin on Vikin ja Hønefossin välinen linjaus Norjassa, jonka pituus on 10 kilometriä. Vertailuista ratalinjauksista pisin on Australian itärannikon suurnopeusjuna, joka on 1800 kilometriä pitkä. Vertailtujen ratalinjauksien mediaani on 285 kilometriä ja keskiarvo noin 520 kilometriä.

Taulukko 12. *Vertailtujen ratalinjauksien projektinimet suomeksi, sijainnit ja pituudet kilometreissä (muokattu lähteestä Trimble 2017).*

Projekti	Sijainti	Pituus (km)
Vik - Hønefoss	Norja	10
Shaoshan - Ganzhou	Kiina	30
Porto - Braga	Portugali	45
Braga - Vigo	Portugali	45
TGV PACA suurnopeusjuna	Ranska	200
Lissabon - Espanjan raja	Portugali	200
Aveira - Salamanca	Portugali	220
Evora - Faro - Huelva	Portugali	270
Lissabon - Porto	Portugali	300
Kalifornian suurnopeusjuna	Yhdysvallat	300
ECER	Malesia	545
Rio De Janeiro - Sao Paulo	Brasilia	560
Venäjän suurnopeusjunaprojekti - (Moskova – Pietari)	Venäjä	600
Venäjän suurnopeusjunaprojekti - (Moskova – Jekaterinburg)	Venäjä	1600
Venäjän suurnopeusjunaprojekti - (Moskova – Sotši)	Venäjä	1600
Australian itärannikon suurnopeusjuna	Australia	1800

Taulukoista 11 ja 12 huomataan, että niin tie- kuin ratalinjauksia on tehty Quantmilla maailmanlaajuisesti ja laajasti eri maanosissa. Myös tehtyjen väylälinjauksien pituudet vaihtelevat paljon. Hajontaa on niin tie- ja ratalinjauksien välillä kuin saman väylätyypinkin välillä. Trimble Quantm siis sopii laajasti erilaisiin projekteihin pituudesta ja sijainnista riippumatta.

Tyypillisesti Quantmia on käytetty muissa maissa projekteihin, joissa väylälle haetaan uutta linjausta. Tämä kuitenkin johtuu siitä, etteivät suunnittelijat välttämättä tiedä Quantmin hyödyntämismahdollisuuksista olemassa olevan linjauksen parantamiseen (H3). Olemassa olevan väylän parantamista Quantmia hyödyntämällä ei ole kokeiltu vielä Euroopassa (H1), mutta muissa maissa sitä on käytetty muutamissa tapauksissa (H3). Esimerkiksi yhdessä tapauksessa huonon pysty- ja vaakageometrian omaavan väylän linjaus optimoitiin uudelleen Quantmilla. Näin tien geometriaa saatiin parannettua. (H3)

4.3 Päätelmät referenssikohteista

Referenssikohteista huomataan, että Quantm soveltuu hyödynnettäväksi erilaisissa kohteissa. Referenssikohteet eroavat toisistaan niin maantieteelliseltä sijainniltaan kuin pituudeltaankin. Tarkastellut referenssikohteet sijaitsevat ympäri maailmaa. Quantmia on hyödynnetty eri pituisten tie- ja ratalinjauksien suunnittelussa kaikilla mantereilla Etelämannerta lukuun ottamatta. Tästä voidaan päätellä, että Quantm sopii linjausoptimointiin ilmasto- ja pohjaolosuhteista riippumatta.

Referenssikohteissa on hyvin pitkiä linjauksia, jollaisia Suomessa ei todennäköisesti tulla koskaan toteuttamaan. Esimerkiksi tuhansia kilometrejä pitkää tie- tai ratalinjausta tuskin tullaan toteuttamaan Suomessa. Kuitenkin mukana on myös pituudeltaan lyhyempiä hankkeita, jonka kaltaisia projekteja voidaan Suomessa toteuttaa. Tästä esimerkkeinä ovat Ruotsin teiden 56, 77 ja 168 suunnitteluhankkeet, joissa kaikissa on kyse maksimis- saan 10 kilometrin pituisista hankkeista.

Tarkastelluista hankkeista varsinkin pisimmät sijaitsevat pääosin koskemattomassa maastossa. Erityisesti tällaisissa tilanteissa ohjelmiston hyödyt voivat korostua, kun rajoittavia tekijöitä ei ole paljoa ja mahdollisia linjausvaihtoehtoja on useita (Tuohilampi 2018). Tuohilammen (2018) mukaan ohjelmiston hyödyntäminen voi tällöin laskea merkittävästi suunnitteluun kuluvaan aikaan. Kuitenkin referenssikohteissa oli myös esimerkkejä tilanteista, joissa kyse oli jo entuudestaan rakennetusta maastosta. Myös näissä tapauksissa Quantmin on koettu toimivan hyvin suunnittelun apuvälineenä ja lyhentävän suunnitteluun kuluvaan aikaan. Suomessa monet hankkeista sijaitsevat entuudestaan rakennetussa ympäristössä, joten tämä tieto on lupaava.

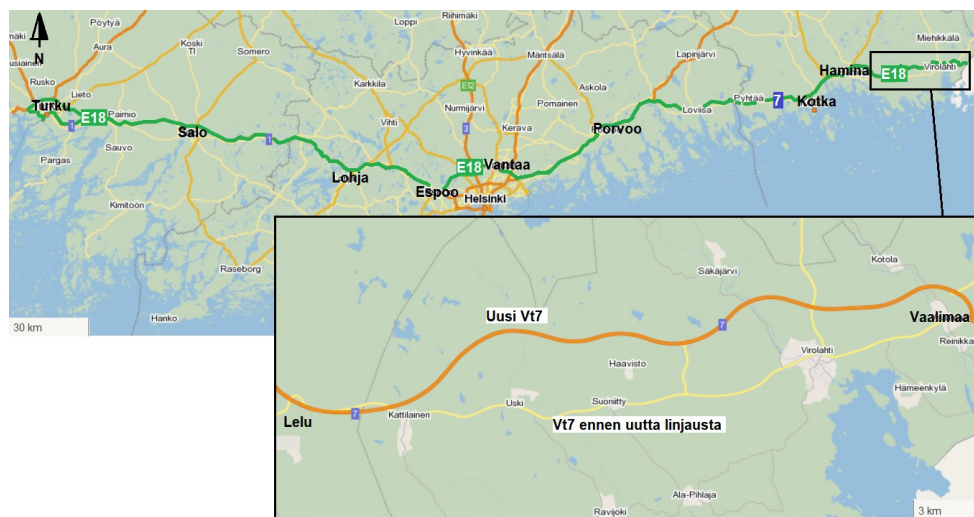
Vaikka Quantmissa ei varsinaisesti pystytä valitsemaan optimoinnin aluksi tai lopuksi esimerkiksi viivaa tai aluetta, Ruotsin tien 168 tapauksessa huomattiin myös optimaalisten päätepisteiden sijainnin arvioinnin olevan mahdollista. Pilottiprojektia toteutettaessa tätä ei tiedetty. Tapaus oli hyvin mielenkiintoinen, sillä Suomessa varmasti on vastaisuudessaakin tilanteita, joissa väylän päätepisteet eivät ole tiedossa. Sovelletuna menetelmä voisi sopia myös tapauksiin, joissa ainoastaan toinen päätepisteistä on tiedossa.

Referenssikohteissa Quantmin hyötynä on erityisesti koettu suunnitteluun kuluvan ajan väheneminen. Kerralla voidaan etsiä useita linjauksia ja ohjelmisto voi löytää vaihtoehtoja, joita suunnittelija ei välttämättä keksisi. Ohjelmisto huomioi ympäristön ja valitut vaihtoehdot on helppo perustella ohjelmistoon syötettyjen tietojen perusteella. Referenssikohteiden perusteella Quantmissa on lisäksi potentiaalia kustannusten minimoimiseen. Kuitenkaan referenssikohteissa ei kerrottu koetuista haasteista tai ohjelmiston kehitystarpeista. Näin ollen on mahdotonta tietää, onko referenssikohteissa koettu haasteita Quantmin käytössä.

5. CASE: VALTATIE 7 LINJAUKSEN OPTIMOIMINEN VÄLILLÄ HAMINA - VAALIMAA

Trimble Quantmin soveltumista hyödynnettäväksi Suomeen arvioitiin optimoimalla yhteen jo suunniteltuun ja toteutettuun hankkeeseen linjausvaihtoehdot. Hankkeeksi valikoitui valtatie 7 parantamishanke Haminan ja Vaalimaan välisellä tieosuudella, sillä hankkeesta oli saatavilla hyvin tietoa. Trimble Quantmilla optimoitiin yleissuunnitelma-vaiheen linjauksia. Lähtötietoina käytettiin pääasiassa avoimesta datasta saatavilla olevia aineistoja. Optimoinnin toteutti diplomityön tekijä syksyllä 2018.

Haminan ja Vaalimaan välinen tieosuus on noin 33 kilometriä pitkä. Valtatie 7 kulkee Helsingistä Kotkan ja Haminan kautta Vaalimaalle. Valtatie 7 on osa kansainvälistä Eurooppatietä E18. Tie on tärkein poikittaisyhteys Etelä-Suomessa sekä se on Suomen ja Venäjän välisen liikenteen pääväylä. Yleissuunnitelmassa tarkasteltu suunnittelualue rajautui lännestä Lelun alueella Haminan ohitustiestä tehtyyn tiesuunnitelmaan. (Tiehallinto 2009b) Tieosuus valmistui vuoden 2018 maaliskuussa (Väylä 2019b). Kuvassa 22 on esitetty suunnittelualueen sijoittuminen Etelä-Suomen kartalle. Kuvassa näkyy valtatie 7 yleissuunnitelman mukaisessa tilanteessa, jossa uutta linjausta ei vielä ollut toteutettu eikä toteutettu uusi linjaus. Kyseinen uusi linjaus valittiin vaihtoehtotarkastelujen jälkeen yleissuunnitelmassa parhaaksi vaihtoehdoksi.



Kuva 22. Suunnitteluosuuden sijoittuminen Suomen kartalle. Kuvassa on esitetty Valtatie 7 linjaus sekä yleissuunnitelman teon hetkellä että toteutettuna. (Muokattu lähteestä Fonecta 2018)

Yleissuunnitelmassa oli paljon kansainvälisiä, valtakunnallisia, seudullisia sekä paikallisia tavoitteita. Näistä keskeisimpinä tavoitteina olivat tieosuuden turvallisuuden ja

sujuvuuden parantaminen. Tieosuutta haluttiin parantaa niin, että tien E18 itäisin osuus olisi korkeatasoista ja laatutasoltaan yhtenäistä moottoritietä. (Tiehallinto 2009b)

5.1 Työn kuvaus

Maanmittauslaitoksen avoimista tietoaaineistoista haettiin korkeusmallit tarvittavalta alueelta. Korkeusmallit olivat Esri Grid-tiedostomuodossa. Korkeusmallit vietiin suoraan Quantmiin. Maanmittauslaitoksen avoimista tietoaaineistoista haettiin suunnittelualueelta ilmakuvat. Ilmakuvat olivat JPEG2000 -tiedostomuodossa, joten ne muutettiin Quantmia varten ecw-formaattiin Global Mapper -ohjelmistolla.

Maaperätiedot haettiin GTK:n Hakku-palvelusta. Maaperätiedot olivat Mapinfo TAB -formaattissa ja se kattoi koko Suomen alueen. Ladattu tiedosto muutettiin AutoCAD Map -ohjelmistolla Esri Shapefile -formaattiin. Tämän jälkeen aineisto jaettiin tasoittain niin, että yksi tiedosto sisälsi vain yhden maalajin. Maalajikohtaiset tiedostot rajattiin koskemaan ainoastaan suunnittelualuetta. Nämä tiedostot vietiin Trimble Quantmiin, jossa niiden avulla määritettiin alueelle geologiatiedot. Pehmeikköalueille määritettiin lisäksi pohjanvahvistuksesta aiheutuvat kustannukset.

Merialue saatiin MML:n maastokartasta. Maastokartta vietiin AutoCAD Map -ohjelmistoon, josta valittiin ainoastaan vesialueet. Vesialue suodatettiin korkeuksien perusteella niin, että jäljelle jäi vain merialue. Merialuetta käytettiin Trimble Quantmissa rajaamaan suunnittelualuetta.

SYKE:n ladattavista paikkatietoaaineistoista saatiin vuoden 2016 asuinalueet, luonnon-suojelualueet, luonnonsuojeluohjelma-alueet, Natura 2000-alueet, pohjavesialueet sekä Ranta10 mukaiset järvet ja joet. Kaikki edellä mainitut aineistot sisälsivät tiedot koko Suomen laajuudelta. Tiedostot olivat Esri Shapefile -formaattissa. Aineistot rajattiin AutoCAD Map -ohjelmistolla koskemaan ainoastaan suunnittelualuetta. Rajatut alueet vietiin Quantmiin Esri Shapefile -formaattissa. Alueista muut määritettiin vältettäväksi alueiksi pois lukien pohjavesialueet, joille määritettiin kustannus pohjavedensuojauksesta.

Kulttuuriympäristön palveluikkunasta ladattiin tiedot muinaisjäännöskohteista ja rakennushistoriallisesti merkittävistä kohteista. Tiedostot olivat Esri Shapefile-formaatissa. Aineistot rajattiin AutoCAD Map-ohjelmistolla koskemaan ainoastaan suunnittelualuetta. Rajatut aineistot vietiin Quantmiin Esri Shapefile-formaatissa. Quantmiin viedyt alueet määritettiin vältettäväksi alueiksi.

Kaikkia yleissuunnitelmassa käytettyjä lähtötietoja ei ollut saatavissa avoimista aineistoista, joten nämä tiedot päivitettiin suunnitelmaan manuaalisesti. Näille tiedoille katsottiin sijainnit yleissuunnitelmasta ja suunnitelmaan piirrettiin suunnilleen näille kohdille vältettävät alueet. Osa manuaalisesti piirrettävistä aineistoista olivat pisteitä, jotka

sijaitsivat hyvin lähellä toisiaan. Siksi tällaisiin kohtiin ei piirretty yksittäisiä pisteitä, vaan suurempia alueita, jotka sisälsivät nämä kaikki alueet.

Tien poikkileikkaus määritettiin niin, että se vastasi mahdollisimman hyvin yleissuunnitelmassa käytettyä poikkileikkausta. Yleissuunnitelmassa käytetty moottoritien poikkileikkaus on $2 \times 11,75/7,5$ metriä Lelun ja Vaalimaan välillä, jolloin keskikaistan leveys on 15 metriä (Tiehallinto 2009b). Tiehallinnon (2009b) mukaan Vaalimaan eritasoliittymän ja Vaalimaan kiertoliittymän välisellä osuudella keskikaistan leveys on kavennettu 6,5 metriin ja kiertoliittymään saavuttaessa kahteen metriin. Koska tässä tapauksessa kyse on yleispiirteisestä suunnittelusta, ei keskikaistan kapenemista kahteen metriin huomioitu. Trimble Quantmiin määrättiin kaksi eri poikkileikkausta, toinen 15 metrin ja toinen 6,5 metrin keskikaistalla. Poikkileikkaus määritettiin molemmissa tapauksissa samantyyppiseksi sekä oikealle ja vasemmalle puolelle.

Tien geometriset arvot määritettiin luvussa 2.7.2 esitettyjen periaatteiden mukaisesti. Arvojen määrittämisessä käytettiin tien luokkana moottori- ja moottoriliikennetietä sekä suunnittelu- ja mitoitusnopeutena 120 kilometriä tunnissa. Sivukaltevuuden arvona käytettiin kahta prosenttia. Taulukon 5 mukaan viettokaltevuutena käytettiin kuutta prosenttia. Kaarresäde valittiin taulukosta 2 sivukaltevuuteen ja mitoitusnopeuteen perustuen. Taulukon 3 arvoa ei käytetty kaarresäteen valitsemiseen suuren mitoitusnopeuden takia. Kaarresäteenä käytettiin 1500 metriä. Klotoidin parametrina käytettiin taulukon 4 mukaan saatua arvoa 412,5 metriä. Tämän avulla klotoidin kaaren pituudeksi saatiin yhtälöä (2) käyttämällä 113 metriä. Suoran enimmäisarvona käytettiin 3000 metriä. Suoran vähimmäisarvoksi saatiin yhtälön (1) avulla 240 metriä. Quantmiin syötetyt tien vaakageometrian arvot on esitetty kootusti taulukossa 13.

Taulukko 13. Trimble Quantmissa hyödynnetyt tien vaakageometrian arvot.

Parametri	Arvo	
Sivukaltevuus (%)	2	
Viettokaltevuus (%)	6	
Kaarresäde R (m)	1500	
Klotoidin kaaren pituus L (m)	113	
	Enimmäisarvo	Vähimmäisarvo
Suoran pituus (m)	3000	240

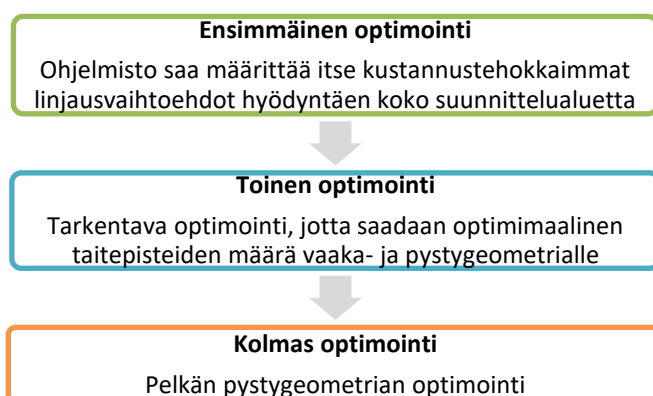
Taulukon 9 mukaan pituuskaltevuuden enimmäisarvoksi saatiin 5 prosenttia ja ohjearvoksi 4 prosenttia. Kuperan pyöristyssäteen ohjearvona käytettiin taulukon 6 mukaan saatua 20000 metriä ja vähimmäisarvona 17000 metriä. Taulukosta 7 saatiin koveran pyöristyssäteen enimmäisarvoksi 7300 metriä ja vähimmäisarvoksi 6700 metriä. Kohtaamisnäkemän arvoksi saatiin taulukon 8 mukaan 430 metriä. Silmäpisteen korkeutena käytettiin 1,1 metriä ja objektin korkeutena 0,2 metriä. Taulukossa 14 on esitetty Quantmissa hyödynnetyt tien pystygeometrian arvot.

Taulukko 14. *Trimble Quantmissa hyödynnetyt tien pystygeometrian arvot.*

Parametri	Enimmäisarvo	Ohjearvo
Pituuskaltevuus (%)	5	4
	Ohjearvo	Vähimmäisarvo
Kupera pyöristyssäde (m)	20000	17000
Kovera pyöristyssäde (m)	7300	6700
Kohtaamisnäkemä (m)	430	-
	Arvo	
Silmäpisteen korkeus (m)	1,1	
Objektin korkeus (m)	0,2	

Yleissuunnitelmassa käytettyjen päätepisteiden tarkkoja sijainteja ei ollut saatavilla. Tämän takia päätepiestet lisätiin Quantmiin manuaalisesti oman arvion mukaan. Yleissuunnitelman kustannuslaskennassa käytettiin hankeosalaskentaa. Quantmiin syötettävät kustannukset vastaavat enemmän rakennusosalaskentaa (Tuohilampi 2018), joten Quantmin kustannustietoina käytettiin pääasiassa ohjelmiston oletuskustannuksia. Joitakin kustannuksia kuitenkin tarkennettiin pilottiprojektissa käytettyjen kustannusten perusteella.

Lähtötietojen määrittämisen jälkeen tehtiin optimoinnit Trimble Quantmilla. Yleissuunnitelman vaihtoehdot 2 ja 3 kulkevat pääosin kokonaan uudessa maastokäytävässä. Tämän takia vaihtoehdot 2 ja 3 optimoitiin ensin Corridor Identification -toiminnolla niin, että ohjelmisto sai itse määrittää koko aluetta hyödyntäen kustannustehokkaimmat linjaukset. Tämän jälkeen tehtiin tarkentavia optimointeja. Toisena optimointina tehtiin ensimmäisestä optimoinnista saadulle parhaalle linjaukselle tarkentava optimointi Seeded Submission -toiminnolla. Optimoinnin tarkoituksena oli selvittää vaaka- ja pystygeometrioiden taitepisteiden optimaaliset määrät. Lopuksi toisesta optimoinnista saadulle parhaalle linjaukselle tehtiin vielä ainoastaan pystygeometrian optimointi, jotta saadut vaihtoehdot olisivat mahdollisimman kustannustehokkaita. Vaihtoehtojen 2 ja 3 optimoinnin prosessia havainnollistetaan kuvassa 23.

**Kuva 23.** *Linjausvaihtoehdoille 2 ja 3 käytetty optimoinnin prosessi.*

Vaihtoehtojen 1 ja 4 muodostaminen erosi vaihtoehdoista 2 ja 3. Yleissuunnitelman vaihtoehdossa 1 moottoritie kulkee nykyisessä maastokäytävässä tai sen tuntumassa. Tämän

takia vaihtoehto 1 optimoitiin Quantmissa alkuperäiseen maastokäytävään. Yleissuunnitelman vaihtoehto 4 yhdistää vaihtoehtojen 1 ja 3 maastokäytäviä, joten vaihtoehto 4 muodostettiin yhdistämällä vaihtoehtojen 1 ja 3 linjaukset.

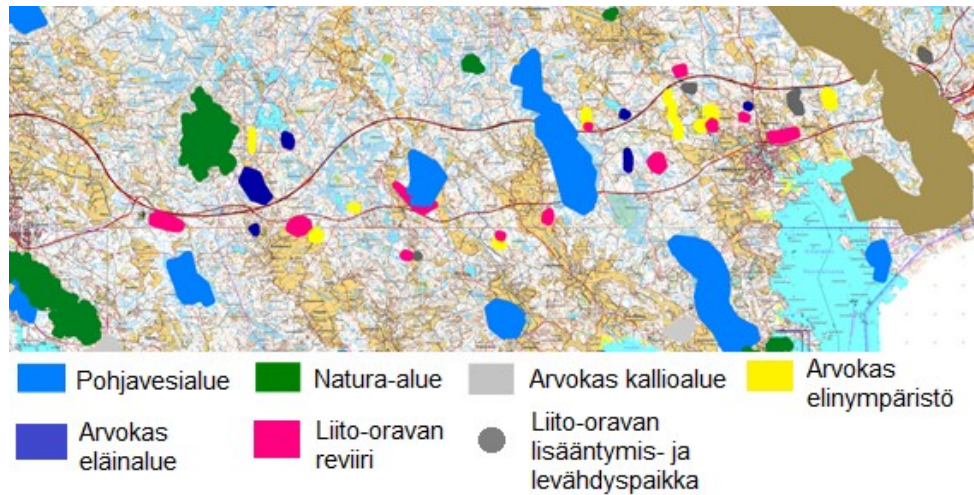
5.2 Lähtöaineistojen vertailu

Yleissuunnitelman arvokkaat luontokohteet sisältävät tietoja alueen vesistöistä sekä eläin- ja kasvillisuusalueista. Luontokohteet oli jaettu kohteittain arvokkaihin elinympäristöihin, arvokkaihin eläinalueisiin, arvokkaihin kasvillisuusalueisiin, Natura-alueisiin, pohjavesialueisiin, liito-oravan reviireihin, liito-oravan lisääntymis- ja levähdyspaikkoihin sekä arvokkaisiin kallioalueisiin. (Tiehallinto 2009b) Nämä alueet on esitetty kuvassa 24.



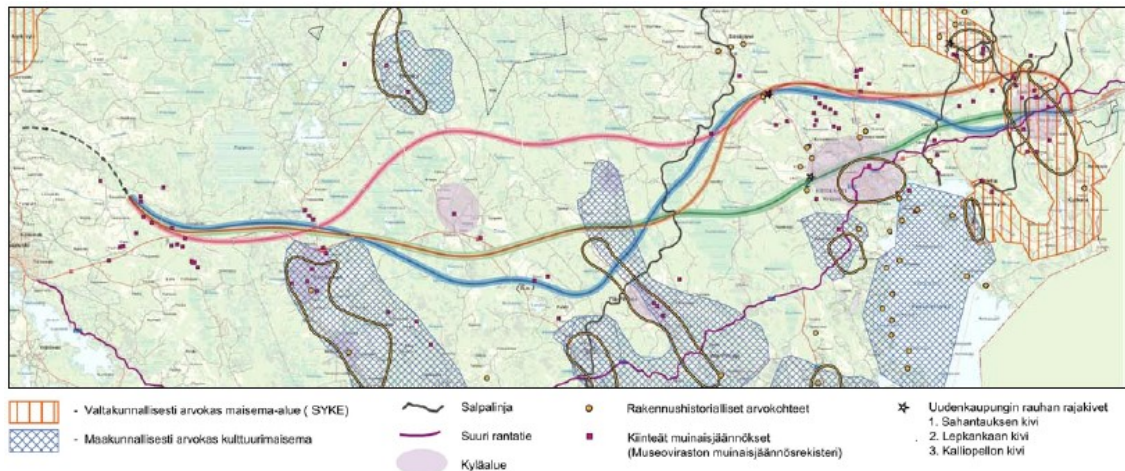
Kuva 24. Yleissuunnitelmassa esitetyt suunnittelualueen arvokkaat luontokohteet (Tiehallinto 2009b).

Avoimista aineistoista löydettiin hieman suppeammin aineistoa arvokkaista luontokohteista kuin mitä yleissuunnitelmassa oli käytetty. Avoimista aineistoista ei löytynyt ollenkaan tietoja arvokkaista eläinalueista tai arvokkaista elinympäristöistä, joten nämä tiedot määritettiin manuaalisesti. Muuten aineistoa löytyi melko kattavasti. Avoimista aineistoista löytyneitä arvokkaita luontokohteita olivat Natura-alueet, luonnonsuojelualueet, arvokkaat kallioalueet sekä pohjavesialueet. Optimoinnissa käytetyt arvokkaat luontokohteet on esitetty kuvassa 25.



Kuva 25. Optimoinnin lähtötietoina käytetyt suunnittelualan arvokkaat luontokohteet.

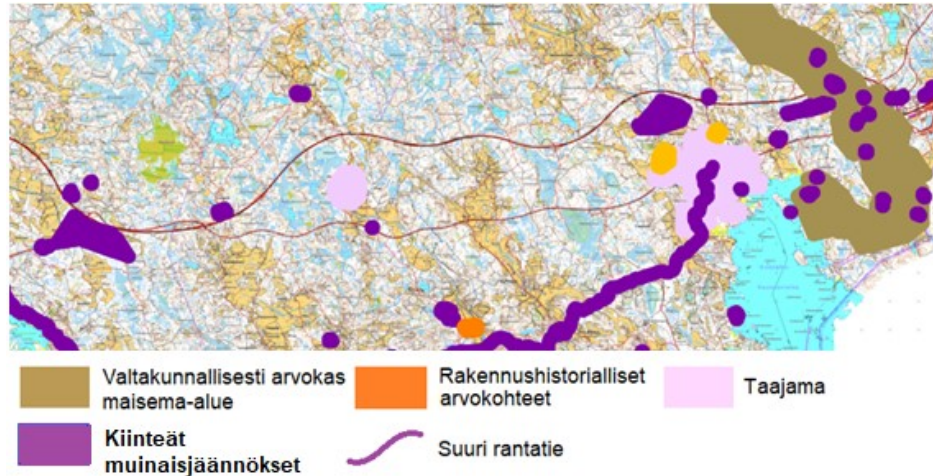
Suunnittelualueella on paljon erilaisia arvokkaita maisema- ja kulttuurikohteita. Yleissuunnitelmassa esitetyjä arvokkaita maisema- ja kulttuurikohteita ovat valtakunnallisesti arvokkaat maisema-alueet, maakunnallisesti arvokkaat kulttuurimaisemat, Salpalinjat, Suuri rantatie, kyläalueet, rakennushistorialliset arvokohteet, kiinteät muinaisjäännökset sekä Uudenkaupungin rauhan rajakivet. Kaikki yleissuunnitelmassa käytetyt maisema- ja kulttuurikohteet on esitetty kuvassa 26.



Kuva 26. Yleissuunnitelmassa esitetyt arvokkaat maisema- ja kulttuurikohteet (Tiehallinto 2009b).

Arvokkaiden luontokohteiden tavoin myös arvokkaita maisema- ja kulttuurikohteita löytyi avoimista tietoa-aineistoista suppeammin kuin mitä yleissuunnitelmassa on käytetty. Suoraan kyläalueista ei löytynyt tietoa avoimista aineistoista. Avoimista aineistoista kuitenkin löytyi aineistoa taajama-alueista, jotka osittain sisältävät yleissuunnitelmassa käytettyjen kyläalueiden kohteet. Puuttuvilta osin kyläalueet määritettiin suunnitelmaan maanlaajuisesti. Avoimista aineistoista löytyi tietoja muinaisjäännöksistä, rakennushistoriallisista arvokohteista ja Suuresta rantatiestä. Rantatie vietiin lähtötiedoksi sellaisenaan.

Muinaisjäännöksiä ja rakennushistoriallisia arvokohteita lisättiin manuaalisesti, jotta tiedot vastasivat yleissuunnitelmassa esitettyjä lähtötietoja. Maakunnallisesti arvokkaat kulttuurimaisemat tai Salpalinjat eivät merkittävästi vaikuttaneet vaihtoehtoihin, joten niitä ei merkitty optimoinnin lähtötiedoiksi. Kaikki optimoinnin lähtötietoina käytetyt arvokkaat maisema- ja kulttuurikohteet on esitetty kuvassa 27.



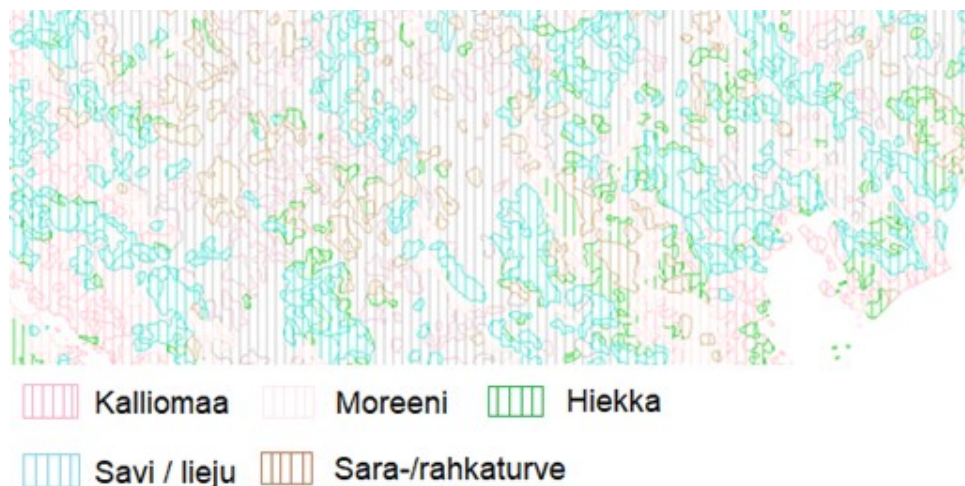
Kuva 27. Optimoinnin lähtötietoina käytetyt arvokkaat maisema- ja kulttuurikohteet.

Maaperä suunnittelualueella on pienipiirteistä ja vaihtelevaa (Tiehallinto 2009b). Suunnittelualueella on pääasiassa kalliomaata, mutta paljon myös savea tai liejua sisältäviä pehmeikköalueita. Lisäksi alueella on paikoitellen maaperänä moreenia, hiekkaa ja sara- tai rahkaturvetta. Kuvassa 28 näkyy yleissuunnitelmassa esitetty suunnittelualueen maaperä.



Kuva 28. Yleissuunnitelman mukainen suunnittelualueen maaperä (Tiehallinto 2009b).

Kuvassa 29 on esitetty Quantmissa optimoinnin lähtötietona käytetyt maaperätiedot, jotka on saatu avoimista aineistoista. Yleissuunnitelmassa käytettyjen maaperätietojen tavoin maaperä on jaettu kalliomaahan, moreeniin, hiekkaan, saveen ja liejuun sekä sara- ja rahkaturpeeseen.

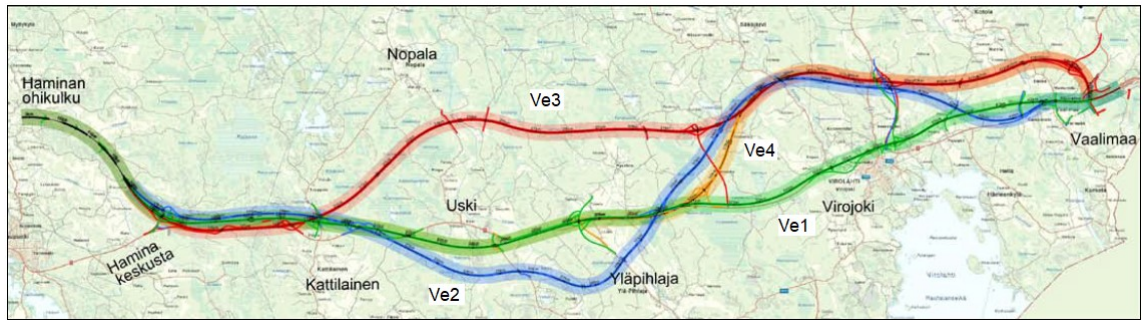


Kuva 29. *Quantmin optimoinnissa lähtötietona käytetyt maaperätiedot.*

Kuvista 28 ja 29 huomataan, että Quantmin lähtötietona käytetyt maaperätiedot ovat melko samanlaisia yleissuunnitelman maaperätietojen kanssa. Joitakin pieniä eroavaisuuksia maaperätiedoissa on, jotka voivat johtua käytetystä mittakaavasta. Yleissuunnitelma-aineistoista ei selvinnyt, missä mittakaavassa olevaa maaperäaineistoa suunnittelussa käytettiin, joten se voi erota optimoinnissa käytetystä.

5.3 Vaihtoehtojen vertailu

Yleissuunnitelmassa tutkittiin päävaihtoehtoina nykyisen tien parantamista sekä neljää eri moottoritievaihtoehtoa. Nykyisen tien parantamisvaihtoehdossa nykyistä tietä parannetaan linjausta muuttamatta toimenpiteillä, jotka parantavat liikenneturvallisuutta ja toimivuutta. Vaihtoehdossa 1 moottoritie on nykyisessä maastokäytävässä tai sen tuntumassa. Vaihtoehto 2 sijoittuu Kattilaisen ja Yläpihlajan välisellä osuudella nykyisen tien eteläisen puolelle. Vaihtoehto 2 risteää Yläpihlajassa nykyisen tien kanssa, jonka jälkeen se sijoittuu pääosin nykyisen tien pohjoispuolelle. Vaihtoehto 3 sijoittuu koko matkalta nykyisen tien pohjoispuolelle. Vaihtoehto 4 on vaihtoehtoja 1 ja 3 yhdistelevä vaihtoehto. Vaihtoehto 4 myötäilee Kattilaisten ja Yläpihlajan välisellä osuudella vaihtoehtoa 1, jonka jälkeen se noudattelee vaihtoehdon 3 linjausta. Yleissuunnitelman vaihtoehdoissa on linjausten lisäksi huomioitu liittymät, sisääntuloväylät ja rinnakkaistiet. (Tiehallinto 2009b) Kuvassa 30 on esitetty yleissuunnitelmassa tutkitut vaihtoehdot.



Kuva 30. Yleissuunnitelmassa vertailtujen vaihtoehtojen maastokäytävät (Tiehallinto 2009b).

Kuvassa 31 esitetään Trimble Quantmilla saadut linjausvaihtoehdot. Vaihtoehdossa Qve1 moottoritie on nykyisessä maastokäytävässä tai sen tuntumassa. Vaihtoehto Qve2 sijoittuu yleissuunnitelman tapaan Kattilaisen ja Yläpihlajan välisellä osuudella nykyisen tien eteläiselle puolelle. Yleissuunnitelman mukaisesti vaihtoehto Qve2 risteää Yläpihlajassa nykyisen tien kanssa, jonka jälkeen se sijoittuu nykyisen tien pohjoispuolelle. Vaihtoehto Qve3 sijoittuu yleissuunnitelman tavoin kokonaan nykyisen tien pohjoispuolelle. Vaihtoehto Qve4 yhdistelee yleissuunnitelman mukaisesti vaihtoehtoja 1 ja 3. Kuitenkaan Quantmilla saaduissa vaihtoehdoissa ei ole yleissuunnitelman tavoin huomioitu liittymiä, sisääntuloväyliä tai rinnakkaisteitä.



Kuva 31. Trimble Quantmilla saadut vaihtoehdot.

Kuvia 30 ja 31 vertailemalla huomataan, että Trimble Quantmilla optimoidut vaihtoehdot ovat samantapaisia yleissuunnitelmassa tutkittujen vaihtoehtojen kanssa. Quantmilla saaduissa vaihtoehdoissa on kuitenkin jonkin verran myös eroavaisuuksia yleissuunnitelman päävaihtoehtojen kanssa. Quantmilla optimoitu vaihtoehto Qve1 on muuten hyvin samanlainen yleissuunnitelman vaihtoehdon 1 kanssa, mutta yleissuunnitelman vaihtoehdossa linjaus kulkee Uskin kohdalla etelämmästä. Vaihtoehto Qve2 on aluksi samantapainen yleissuunnitelmassa esitetyn vaihtoehdon 2 kanssa, mutta lopussa se kulkee vaihtoehdon 3 kanssa samaa maastokäytävää. Yleissuunnitelman mukaan vaihtoehto 2 kulkee lopussa etelämpää kulkien vaihtoehdon 1 kanssa samaa maastokäytävää. Quantmilla saatu vaihtoehto Qve3 on yleissuunnitelman vaihtoehdon kanssa melkein sama loppua lukuun ottamatta. Qve3 kiertää pohjoisemmasta Vaalimaan liittymään kuin yleissuunnitelman

vaihtoehto. Vaihtoehto Qve4 liittyy vaihtoehtoon 3 mukaiseen maastokäytävään lännemmästä päin kuin yleissuunnitelmassa esitetty vaihtoehto 4.

Quantmilla optimoitujen vaihtojen eroavaisuudet yleissuunnitelman vaihtoehtoihin voivat selittyä esimerkiksi erilaisilla lähtötiedoilla. Ensinnäkin yleissuunnitelman ja Quantmin lähtötiedot varmasti eroavat toisistaan ainakin osittain. Quantmiin manuaalisesti määritetyt alueet eivät ole kovin tarkkoja, joten näiden osalta voi olla virheitä. Quantm mahdollisuuksien mukaan välttää siihen määritettyjä vältettäviä alueita, joten myös tämä voi selittää vaihtoehtojen välisiä eroavaisuuksia.

Suurin seikka, joka selittää vaihtoehtoon Qve2 kulkemisen pohjoisemmasta kuin yleissuunnitelman vaihtoehto 2, on lähtötietojen suuri määrä linjauksen lopun kohdalla. Quantm pyrkii välttämään näitä kohtia, jonka takia vaihtoehto Qve2 ei kulje yleissuunnitelman vaihtoehtoon 2 tavoin etelämmästä päin Vaalimaan liittymään. Samaisesta syystä myös vaihtoehto Qve3 kulkee linjauksen lopussa pohjoisemmasta kuin yleissuunnitelman vaihtoehtoon 3 linjaus. Vaihtoehdot 2 ja 3 voivat kulkea yleissuunnitelman vaihtoehtoja pohjoisemmasta myös vältettävien alueiden sijainnin takia. Vertailemalla lähtötietoja näyttäisi nimittäin, että Quantmiin manuaalisesti määritetyt lähtötiedot sijaitsevat yleissuunnitelman lähtötietoja enemmän pohjoisemmassa päin, joka voi selittää eroavaisuutta. Kuitenkaan vaihtoehtojen 1 ja Qve1 sekä 4 ja Qve4 lähtötiedoissa ei ole havaittavissa merkittäviä eroavaisuuksia, jotka selittäisivät vaihtoehtojen eroavaisuudet.

Myös muut seikat voivat vaikuttaa yleissuunnitelmassa laadittujen ja Quantmin vaihtoehtojen välisiin eroavaisuuksiin. Quantmin avulla saadut vaihtoehdot eivät huomioineet yleissuunnitelman vaihtoehtojen tavoin liittymiä, sisääntuloväyliä tai rinnakkaisteitä. Tämä voi osittain vaikuttaa Quantmin linjauksiin, koska niissä ei ole huomioitu esimerkiksi eritasoliittymien tilavarauksia. Lisäksi yleissuunnitelman taustalla voi olla seikkoja, jotka eivät ilmenneet saatavilla olleista lähtötiedoista. Näin ollen voi olla, ettei kaikkia seikkoja ole osattu huomioida Quantmin vaihtoehtojen määrittämisessä. Yleissuunnitelmassa käytetyt geometria-arvot voivat poiketa Trimble Quantmin optimoinneissa käytetyistä arvoista, sillä arvoja ei ollut esitettyä yleissuunnitelmassa. Myös aika voi vaikuttaa, sillä yleissuunnitelman ja Quantmilla tehtyjen optimointien välillä on kulunut aikaa melkein 10 vuotta.

Quantm pyrkii tuottamaan mahdollisimman alhaisen kustannustason linjauksia. Näin ollen on mahdollista, että Quantmin avulla löydettiin kustannustehokkaimpia vaihtoehtoja kuin yleissuunnitelmassa. Tämä selittäisi vaihtoehtojen välisiä eroavaisuuksia. Tätä ei kuitenkaan ei voida tietää varmaksi, sillä Quantmin ja yleissuunnitelman kustannusarvot eivät ole vertailtavissa keskenään.

Taulukossa 15 vertaillaan tarkemmin yleissuunnitelman päävaihtoehtoa 3 ja Quantmilla saatua vaihtoehtoa Qve3. Quantmilla saatujen vaihtoehtojen kustannussäästöt perinteisillä menetelmillä saatuihin vaihtoehtoihin verrattuna selittyvät usein lyhyemmällä

linjauksilla sekä siltojen ja tunnelien määrällä (Trimble 2017), joten taulukossa keskityttiin näiden seikkojen vertailemiseen. Vaihtoehtojen vertailussa keskityttiin näihin seikkoihin myös siksi, ettei yleissuunnitelmassa ilmoitettu muita määriä vertailua mahdollis- tavalla tarkkuudella.

Taulukko 15. Yleissuunnitelman päävaihtoehdon ja Quantmilla saadun vaihtoehdon Qve3 vertailu.

	Yleissuunnitelman päävaihtoehto	Quantmilla saatu vaihtoehto Qve3
Pituus (km)	n. 33	n. 31
Vesistöjä ylittävien siltojen lukumäärä	3	3
Tunnelien lukumäärä	0	0

Yleissuunnitelman päävaihtoehto on pituudeltaan noin 33 kilometriä kun taas Qve3 on pituudeltaan noin 31 kilometriä. Quantmilla saatu linjaus on siis noin 2 kilometriä lyhyempi yleissuunnitelman linjausta. Osa tästä voi selittyä alku- ja loppupisteiden sijainneilla, sillä Quantmin vaihtoehtoja tehdessä näitä ei tiedetty tarkasti. Quantmin linjausvaihtoehto voi olla lyhyempi myös sen takia, että alkumatkan Kattilaisten kohdalle asti se kulkee pohjoisemmasta kuin yleissuunnitelman vaihtoehto. Quantmilla saatu vaihtoehto kulkee linjauksen loppuosissa yleissuunnitelman vaihtoehtoa pohjoisempaa. Toisaalta muuten Quantmin linjaus kulkee yleissuunnitelman linjausta suurempaa, jonka takia Quantmin linjaus voi olla loppujen lopuksi yleissuunnitelman vaihtoehtoa lyhyempi.

Yleissuunnitelman vaihtoehdossa on vesistöjä ylittäviä siltoja 3 (Tiehallinto 2009b). Saman verran vesistöjä ylittäviä siltoja on myös Quantmilla saadussa vaihtoehdossa. Kuitenkin tämän lisäksi yleissuunnitelman vaihtoehdossa on risteyssiltoja ja eläinsiltoja kaiken kaikkiaan 36 kappaletta (Tiehallinto 2000b). Näitä Quantmin vaihtoehdossa ei ole huomioituna. Kummassakaan vaihtoehdossa ei ole yhtään tunneleita.

5.4 Päätelmät optimoinnista

Quantmilla saadut linjausvaihtoehdot olivat hyvin samankaltaisia yleissuunnitelman vaihtoehtojen kanssa ainakin vaakageometrian osalta. Näin ollen voidaan päätellä, että Quantm voisi sopia vastaavanlaisen hankkeen linjausten optimointiin ja vaihtoehtojen vertailuun. Kustannustiedot eivät kuitenkaan ole vertailtavissa keskenään. Tämän takia ei tiedetä, kummat vaihtoehdoista ovat kustannustehokkaimpia.

Vaikka optimoitavan linjauksen pituus oli suhteellisen pitkä, noin 31 kilometriä, olivat optimoinnit nopeita. Esimerkiksi 25 linjauksen optimoiminen kesti noin tunnin. Myös useiden referenssikohteiden sekä pilottiprojektin tuloksena on ollut, että ohjelmistolla

tehtävät optimoinnit tapahtuvat nopeasti. Näin ollen ohjelmiston käytöllä on mahdollista nopeuttaa suunnitteluun kuluva aikaa.

Quantmin ja yleissuunnitelman linjausvaihtoehdot eroavat toisistaan siten, että yleissuunnitelman vaihtoehdoissa on huomioitu liittymät, sisääntuloväylät tai rinnakkaistiet. Quantmissa on mahdollista optimoida sisääntuloväyliä ja rinnakkaisteitä erillisellä optimoinnilla. Tätä ei kuitenkaan toteutettu työssä, sillä tarkoituksena oli selvittää saatavia moottoritien vaihtoehtoja Quantmia hyödyntämällä. Sen sijaan liittymiä ei Quantmilla ole mahdollista optimoida. Tehdyssä optimoinnissa ei ole huomioitu risteys- tai eläinsilloja. Risteysillat saadaan kuitenkin tarvittaessa toteutettua. Myös eläinsillat on periaatteessa mahdollista toteuttaa, jos niiden sijainnit tiedetään.

Optimoinnin perusteella voidaan arvioida, että avoimesta datasta saatavat aineistot voisivat sopia hyödynnettäväksi Quantmin lähtötietoina. Yleissuunnitelmissa kuitenkin yleensä kerätään tietoa varta vasten yleissuunnitelmaa varten esimerkiksi erilaisten selvitysten avulla. Tämän takia avoimesta datasta saatuja aineistoja ei yksinään voida käyttää lähtötietona. Tästä huolimatta avoimen datan aineistot toimivat hyvänä perustana lähtötiedoille. Avoimen datan aineistoja voidaan tarvittaessa täydentää muista lähteistä saaduilla tiedoilla.

Suurin osa hyödynnetyistä aineistoista olivat Esri Shapefile-tiedostoina, joita voidaan hyödyntää suoraan Quantmissa. Nämä aineistot olivat saatavilla ainoastaan koko Suomen laajuisena, joten tiedostoja tuli rajata erillisellä ohjelmistolla ennen niiden viemistä Quantmiin. Tämä vei jonkin verran aikaa. Lähtöaineistoista hankalimpia käsiteltäviä olivat maaperäaineistot. Myös maaperäaineistot sisälsivät tiedot koko Suomen alueelta, joten tiedostot ovat hyvin suurikokoisia ja raskaita käsiteltäviä. Näin ollen tiedostojen muuntaminen sopivaan muotoon oli aikaa vievää. Lisäksi maaperäaineistojen rajaaminen vei jonkin verran aikaa, mutta oli tiedostomuodon muuttamiseen verrattuna nopeaa.

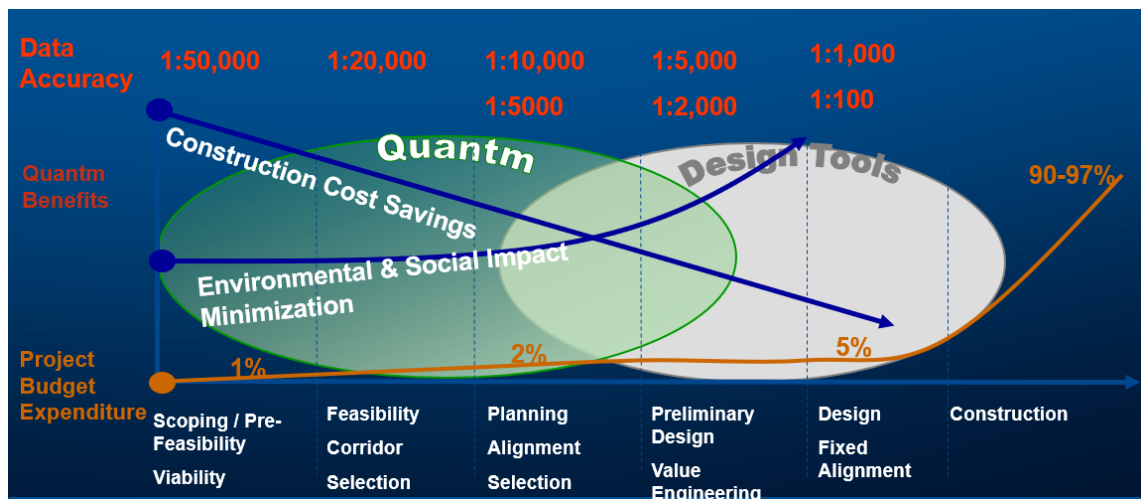
Koska tiedostojen käsittely oli aikaa vievää, kannattaa lähtötietojen hakemiseen ja käsittelyyn käyttää jotain toista tapaa. Useat hyödynnetyistä aineistoista ovat saatavilla WMS- tai WMTS ja WFS -rajapintapalveluina. Rajapintapalveluiden aineistoa voi rajata paikatieto-ohjelmilla. Tämän takia nopeampana keinona lähtötietojen rajaamisessa voisi olla rajapintapalveluiden hyödyntäminen. Tämä nopeuttaisi etenkin maaperäaineistojen rajaamista ja hyödyntämistä. Aineistojen osalta, jotka ovat saatavilla Esri Shapefile-formaatissa, tämä toimintatapa ei todennäköisesti merkittävästi nopeuttaisi aineistojen rajaamiseen kuluva aikaa. Nämä aineistot kannattaisikin mahdollisuuksien mukaan ladata palveluista, josta tiedot saadaan suoraan ladattua osoitetulta alueelta heti hyödynnettävissä olevilla tiedostomuodoilla.

6. ARVIO HYÖDYNTÄMISMAHDOLLISUUKSISTA

6.1 Soveltuminen hyödynnettäväksi Suomessa

Trimble Quantm mahdollistaa nopean vaihtoehtoverailun. Quantm nopeuttaa vaihtoehtojen optimoimista ja etsintää, jonka ansiosta se tehostaa suunnittelua (H6). Ohjelmiston laskemien useiden vaihtoehtojen ansiosta voidaan saada aikaan vaihtoehtoja, joita asiantuntija ei välttämättä löytäisi. (H5; H6; Trimble 2018c) Quantm auttaa suunnittelijoita väylälinjauksien löytämisessä, mutta se ei poista asiantuntijuuden tarvetta (Trimble 2019b). Päinvastoin asiantuntijuuden merkitys voi korostua, kun tarvitaan osaamista ja tietämystä ohjelmistolla tuotettujen vaihtoehtojen arviointiin ja analysoimiseen (H2).

Kuten referenssikohteet osoittivat, Quantm soveltuu erilaisiin tarkoituksiin. Quantm sopii tilanteisiin, jossa etsitään maastokäytävävaihtoehtoja olemassa olevilla maasto- ja ominaisuustiedoilla. Quantm auttaa karkeassa päätöksenteossa luomalla useita linjauksia ensisijaiseen maastokäytävään sekä tuottamalla tietoa arviointia varten. Quantmilla voidaan arvioida toteuttamiskelpoisia linjauksia, optimoida ja tarkentaa linjauksia sekä arvioida uusien rajoitusten vaikutukset yhteiskunnallisten tekijöiden ja ympäristötekijöiden perusteella. Quantmilla voidaan myös arvioida ja hienosäätää vaihtoehtoja suunnittelun aikana. (Trimble 2018e) Tarkemmissa suunnitteluvaiheissa Quantmia voitaisiin hyödyntää erityisesti pystygeometrian suunnitteluun. Kuvassa 32 havainnollistetaan Quantmin hyödyntämistä eri suunnitteluvaiheissa.



Kuva 32. Quantmin soveltuminen eri suunnitteluvaiheisiin (Trimble 2017).

Kuten kuvasta 32 huomataan, Quantm soveltuu parhaiten suunnitteluvaiheisiin, joissa lähtöaineistojen tarkkuustaso on karkea. Parhaiten Quantm soveltuu suunnitteluvaiheisiin, joissa lähtötietojen tarkkuustaso on 1:5000 tai pienempi. Tietomallinnuksen hyötyjen mukaisesti Quantmilla saavutetaan sitä suurempia säästöjä rakennuskustannuksissa,

mitä aiemmassa vaiheessa sitä hyödynnetään. Quantmin avulla voidaan myös minimoida ympäristöllisiä ja sosiaalisia vaikutuksia. (Trimble 2017)

Ohjelmisto soveltuukin erityisesti esi- ja yleissuunnitteluvaiheisiin (Civilpoint 2017). Lisäksi ohjelmistoa voidaan hyödyntää tie- ja ratasuunnitteluvaiheessa alustavassa vaihtoehtotarkastelussa (H5). Näitä väittämiä puoltavat myös kirjallisuusselvityksen havainnot. Niin esi-, yleis- kuin tie- ja ratasuunnitteluvaiheissakin voidaan tehdä väylälinjausten suunnittelua ja vaihtoehtojen vertailua. Tietomallinnuksen näkökulmasta Quantm voisi sopia parhaiten esisuunnitteluvaiheeseen, sillä se painottuu lähtötietomallin laadintaan. Myös yleissuunnitteluvaihe voisi olla potentiaalinen hyödyntämiskohde, sillä siinä mallintaminen ei vielä ole tarkalla tasolla. Toisaalta muita suunnittelujärjestelmiä hyödyntämällä Quantm voisi sopia myös tie- ja ratasuunnitteluvaiheisiin. Kuitenkaan hankkeesta riippuen kaikkia suunnitteluvaiheita ei välttämättä aina toteuteta. Näin ollen ohjelmiston käyttöön soveltuva suunnitteluvaihe on hankkeesta riippuvainen. Quantm voisi lisäksi periaatteessa soveltua hyödynnettäväksi maakunta- ja yleiskaavoitukseen.

Yleissuunnitteluvaiheessa Quantmista voi olla hyötyä etenkin suurimmissa hankkeissa (Tuohilampi 2018; Kylmälä 2015). Sovellettuna Quantmia voidaan hyödyntää myös pienemmissä hankkeissa. Quantmia hyödyntämällä suunnittelussa voidaan saada helpommin edullisempia ja parempia ratkaisuja. (Kylmälä 2015) Myös referenssikohteita tarkastelemalla huomattiin, että Quantmin käytöllä on saavutettu hyötyjä niin suuremmissa kuin pienemmissäkin hankkeissa.

Pilottiprojektissa tultiin tulokseen, että ohjelmisto soveltuu hyvin yleissuunnitteluun, kunhan suunnittelu pysyy tarpeeksi yleispiirteisellä tasolla (Tuohilampi 2018). Pilottiprojektissa noin 7 kilometrin pituinen tieosuus koettiin liian lyhyeksi, vaikka Quantmin pitäisi soveltua kaikkiin yli kahden kilometrin pituisiin tiehankkeisiin. Syynä tähän oli rajaavien tekijöiden liian suuri määrä (Tuohilampi 2018). Voidaankin pohtia, onko rajaavia tekijöitä aina enemmän lyhyemmissä hankkeissa ja mennäänkö lyhyissä hankkeissa jo alkuvaiheen suunnittelussa pidempiä hankkeita tarkempiin määrittelyihin lähtötietojen osalta. Toisaalta Suomessa 7 kilometrin pituinen hanke ei edes ole kovin lyhyt (H2; H4; H5).

Ainakin Nukari-Purola -pilottiprojektia vertaamalla Hamina-Vaalimaan-yleissuunnitteluun voidaan sanoa, että pilottiprojektissa käytetyt lähtötiedot olivat tarkempia. Varsinaisesti rajaavien tekijöiden määrä ei välttämättä ollut määrältään suurempi, mutta maantieteellisesti ne asettivat ne enemmän rajoituksia. Tämän takia vaakageometrialla ei ollut paljoa liikkumavaraa. Kuitenkaan ei tiedetä, onko näin aina lyhyemmissä hankkeissa. Rajaavat tekijät ja niiden määrä ovat hankkeesta riippuvaisia. Rajaavien tekijöiden määrä korostuu entisestään hankkeissa, jotka sijaitsevat jo etuudestaan rakennetussa ympäristössä. Tarkastelluissa referenssikohteissa oli rakennetussa ympäristössä sijaitsevia hankkeita. Myös näissä Quantmin koettiin soveltuvan hyvin suunnitteluun. Kuitenkaan ei tiedetä, kuinka paljon näissä hankkeissa oli rajaavia tekijöitä.

Vaihtoehtojen muodostamisen periaate Quantmissa on samankaltainen perinteisin menetelmin tapahtuvan suunnittelun kanssa. Perinteisten menetelmien tavoin Quantmilla tapahtuvassa suunnittelussa voidaan huomioida vältettävät alueet kuten pohjavesialueet sekä maisemallisesti, kasvustollisesti ja eläimistöllisesti arvokkaat kohteet. Määritetyt alueet asettavat suunnittelulle reunaehdot. Quantm huomioi perinteisen suunnittelun tavoin linjojen muodostumisessa myös esimerkiksi maaston luonteen ja vesistöjen ylityksien määrän. Muodostettavan linjauksen geometria määräytyy annettujen suunnitteluparametrien perusteella. Quantmiin syötettävät suunnitteluparametrit vastaavat suunniteluohjeissa esitettyjä arvoja. Näin ollen Quantm voisi olla hyödynnettävissä Suomessa ainakin tältä osalta.

Referenssikohteiden ja tehdyn case-tutkimuksen perusteella voidaan päätellä, että Quantm soveltuu Suomessa hyödynnettäväksi hankkeisiin, joissa suunnitellaan kokonaan uutta linjausta. Referenssikohteiden tai case-tutkimuksen perusteella ei kuitenkaan selvinnyt, soveltuuko Quantm hyödynnettäväksi hankkeeseen, jossa parannetaan olemassa olevaa väylää. Olemassa olevan väylän parantamiseen voisi mahdollisesti soveltua Quantmin Realignment Submission -toiminto. Toiminnon käytöstä ei kuitenkaan vielä ole merkittävästi kokemuksia. Toiminnolla olemassa olevan väylän linjausta optimoidaan ainoastaan kohdista, jota eivät täytä suunnitteluparametrien kriteereitä. Toimintoa käytettäessä kaikkia linjauksen kohtia ei optimoida, mikäli osa siitä on suunnitteluparametrien kriteerien mukainen. Toiminnon määrittämät kustannukset muodostuvat ainoastaan optimoitujen kohtien mukaan. Näin ollen toiminto voisi sopia hyödynnettäväksi olemassa olevan väylälinjauksen parantamiseen myös Suomessa.

Pilottiprojektissa kului paljon aikaa pelkästään lähtötietojen käsittelemiseen. Tämän takia vaihtoehtojen hakeminen ohjelmistolla oli perinteisiä menetelmiä hitaampaa, vaikka optimointi itsessään tapahtuikin nopeasti. (H5) Pilotissa lähtötietojen tiedostomuotoina oli formaatteja, joita ei pystynyt viemään suoraan ohjelmistoon (H5, Tuohilampi 2018). Esimerkiksi maaperätiedot olivat pdf-muodossa. Nämä tiedot piirrettiin manuaalisesti dwg-kuvaan, jotta tiedot saatiin siirrettyä ESRI Shape -formaattiin. (Tuohilampi 2018) Maaperätietoja on kuitenkin saatavilla avoimesta datasta tiedostoina ja rajapintoina. Näitä aineistoja hyödyntämällä maaperätiedot voidaan viedä Quantmiin digitaalisessa muodossa ilman, että niitä tarvitsee digitoida uudelleen.

Tällä hetkellä kustannuslaskentaohjelmasta saadut kustannukset eivät vastaa Quantmiin syötettäviä kustannuksia. Tämän takia Quantmista saadut kustannusarviot eivät ole riittävän luotettavia. (H6; Tuohilampi 2018) Suurimpana ongelmana on, että esi- ja yleissuunnitelmavaiheissa kustannusarvio tehdään yleensä hankeosalaskennalla. Quantmiin syötettävät kustannukset eivät kuitenkaan vastaa hankeosan kustannuksia. Quantmiin syötettävät kustannukset ovat tarkempia ja vastaavat lähinnä rakennusosalaskentaa (H6; Tuohilampi 2018). Kuitenkaan esi- ja yleissuunnitelmavaiheissa ei yleensä mallinneta kustannuseriä rakennusosalaskennalle riittävällä tasolla. Lisäksi sillat ja tunnelit ovat hankeosia, jonka takia niihin tulee käyttää hankeosalaskentaa eikä niihin voida soveltaa

rakennusosalaskentaa. Kustannusarvioita voidaan kuitenkin käyttää Quantmista saatujen vaihtoehtojen keskinäiseen vertailemiseen, sillä kustannukset muodostuvat kaikille vaihtoehtoillemme samoilla periaatteilla (H6; Tuohilampi 2018).

Nukari-Purola-pilottiprojektissa ilmeni, että suunnittelua tehdessä Quantmilla lähtötietoina tulee olla alku- ja loppupisteet, joiden välille optimointi tehdään. Tämä koettiin haasteelliseksi, sillä optimoitavassa linjauksessa oli tiedossa ainoastaan alkupiste. Näin ollen päätepistettä varten tuli määrittää usea liittymiskohta, joihin optimoinnit tehtiin. (Tuohilampi 2018) Suomessa pilottiprojektin kaltaisia tilanteita on paljon (H2, H4, H5). Etenkin tiehankkeille on tyypillistä, että molemmat päätepisteet eivät ole tarkasti tiedossa, kun etsitään linjausvaihtoehtoja (H5). Tämä kuitenkin riippuu tilanteesta ja usein on myös tilanteita, joissa molemmat päätepisteet on määritelty tarkasti ennen suunnittelun aloittamista (H4). Tilanne, jossa optimoinnin lähtö- tai loppupiste ei ole tarkkaan määritelty, on tuttu myös muissa maissa tehdyissä projekteissa. Tätä ei kuitenkaan ole koettu muissa maissa suureksi ongelmaksi. (H1)

Voidaankin siis arvioida, että Quantm on osittain hyödynnettävissä suunnitteluun nykytilassa. Quantmia voidaan käyttää sekä uusien että olemassa olevien linjausten optimoimiseen. Quantmin vahvuutena on erityisesti useiden linjausten optimoiminen kerralla. Vaihtoehtojen kustannuksia voidaan vertailla keskenään. Kehitystoimenpiteillä voidaan parantaa ohjelmiston hyödynnettävyyttä Suomessa.

6.2 Kehityskohteet ja -ehdotukset

Kehityskohteet on kerätty pilottiprojektin tulosten, haastatteluiden ja omien kokemusten perusteella. Kehityskohteet voidaan jaotella eri kategorioihin riippuen niiden käyttökohdista ja tarkoituksista. Kehityskohteet jakautuvat lähtöaineistojen hyödyntämiseen, tiedonsiirtoon, optimointityökaluihin sekä vaihtoehtovertailuun. Kehitysehdotukset liittyvät kehityskohteesta riippuen pääasiassa joko ohjelmiston kehittämiseen tai ohjeistuksen parantamiseen.

Lähtötietojen, etenkin lähtöaineistojen ja kustannusten, määrittämisen helpottamista pidettiin haastattelujen perusteella tärkeimpänä kehityskohteena. Lähtötietojen syöttäminen olisi tärkeää saada nopeaksi ja helpoksi. Vaikka Quantmia käytettäessä optimoinnissa säästetään aikaa perinteisiin menetelmiin verrattuna, menetetään sen tuomat hyödyt, jos lähtötietojen keräämisessä ja syöttämisessä kuluu paljon aikaa. Näin ollen tulisi keksiä keinoja, jolla lähtötietojen määrittämistä helpotetaan.

Lähtöaineistojen hakemisen helpottamiseksi pidemmän aikavälin ratkaisuna voisi olla, että ohjelmistoa kehitetään lisäämällä siihen yhteensopivuus WMS tai WMTS ja WFS-rajapinnoille. Tämän avulla palveluista voitaisiin hakea suoraan lähtöaineistoja, joita on mahdollista hyödyntää optimoinneissa. Kuitenkin tämän toiminnon kehityksessä voi kestää, joten siihen asti olisi hyvä olla jokin toinen keino lähtöaineistojen tuonnin

helpottamiseksi. Lähtöaineistoksi sopivia aineistoa on saatavilla paljon avoimesta datasta. Näin ollen aineiston tuomista voitaisiin helpottaa ja nopeuttaa ohjeistamalla asiakkaita Quantmiin sopivissa formaateissa sekä siinä, kuinka nämä tiedot voidaan saada.

Case-tutkimuksen avulla huomattiin, että avoimesta datasta saatavat lähtöaineistot soveltuvat hyvin käytettäväksi Quantmissa. Suunnittelussa käytetään usein lähtöaineistoina suunnittelua varten tilattuja selvityksiä ja tutkimuksia. Näin ollen avoimen datan aineistot eivät välttämättä yksistään riitä optimoinnin lähtötiedoiksi. Kuitenkin avoimen datan aineistot antavat hyvän perustan lähtötiedoille, joita voidaan tarvittavilta osin tarkentaa. Avoimesta datasta on saatavilla esimerkiksi maaperäaineistot, joiden tuonti ohjelmistoon koettiin pilottiprojektissa olevan erityisen ongelmasta. Avoimesta datasta voidaan siis saada Quantmin lähtötiedoiksi aineistoja, joiden hyödyntäminen olisi muuten työlästä ja aikaa vievää. Avoimesta datasta saatavien aineistojen avulla lähtötiedot saadaan ohjelmistoon nopeammin, joka avulla päästään tekemään nopeammin optimointeja. Tämä vähentää Quantmilla tapahtuvan suunnittelun kokonaisaikaa.

Kustannusten määrittämistä tulisi kehittää niin, että kustannusarvio olisi todenmukainen (H2; H4; H5; H6). Erityisen ongelmallisena pilottiprojektissa oli, että kustannukset perustuivat osittain Fore-palvelusta saatuihin kustannuksiin, mutta osittain eivät (H4). Quantmista saatujen kustannusarvioiden pitäisi olla riittävän luotettavat (H2). Haastatteissa korostui, että kustannusten muodostamista tulisi muuttaa Quantmissa siten, että kustannukset perustuisivat kokonaan käytössä olevaan kustannuslaskentaohjelmaan. Tämä olisi mahdollista joko ohjelmistoa kehittämällä tai kustannuksien muodostumista muuttamalla niin, että yksikkökustannukset olisivat yhteensopivia Quantmin ja kustannuslaskentaohjelman kesken.

Quantmin kustannuksia ei välttämättä ole kannattavaa enää yhteensovittaa Fore-palvelun hinnastojen kanssa. Kuitenkin tällä hetkellä toteutusvaiheessa oleva Ihku-allianssi tarjoaa hyvän tilaisuuden kustannuslaskentaohjelman ja Quantmin yhteensovittamiseksi. Tämän avulla Quantmiin voitaisiin saada suoraan tuotua kustannustiedot kustannuslaskentaohjelmasta. Kustannustiedot voisivat myös olla nykyistä todenmukaisempia. Koska Ihku-allianssi on vasta toteutusvaiheessa, kestää luotettavien kustannuksien saamisessa vielä jonkin aikaa. Tätä ennen tulisikin keksiä muita keinoja luotettavamman kustannusarvion saamiseksi.

Esimerkiksi Norjassa ja Ruotsissa Quantmissa käytetyt kustannustiedot on toteutettu asiantuntija-arvioiden perusteella. Kustannusten arvioimiseen on kysytty arvioita muutamilta alan asiantuntijoilta. Näiden arvioiden pohjalta on tuotettu Quantmissa hyödynnettävät kustannustiedot, jotka annetaan asiakkaille heidän käyttäessä Quantmia. Kustannustiedot voi viedä suoraan Quantmiin, joka nopeuttaa varsinaisen suunnittelun aloittamista. Kustannusarvioita voi tarvittaessa muuttaa hankkeeseen sopivimmiksi. Samaa tapaa on hyödynnetty myös poikkileikkauksissa ja suunnitteluparametreissa. (H1) Näin ollen siis

myös suunnitteluparametrit ja poikkileikkaukset voitaisiin määrittää ennakolta. Nämä tiedot voitaisiin antaa asiakkaille, kun he alkavat hyödyntämään Quantmia.

Vaikka poikkileikkausten tai suunnitteluparametrien syöttämistä ei koettu haastatteluiden tai case-tutkimuksen perusteella hankalana tai pitkäkestoisena, nopeutuisi Quantmilla tehtävä suunnittelu, jos nämä tiedot saataisiin nykyistä helpommin. Näin Quantmin avulla saavutettavat hyödyt voisivat korostua. Pidemmällä aikavälillä voisi olla hyödyllistä, jos väyläpoikkileikkaukset ja suunnitteluparametrit saataisiin suoraan ohjelmistosta. Tässä tulee kuitenkin huomioida mahdolliset muutokset poikkileikkauksiin ja suunnitteluparametreihin, joita voi tulla esimerkiksi automatisaation ja robotisaation yleistyessä. Poikkileikkaustietoja ja suunnitteluparametreja tulee siis tarvittaessa päivittää.

Muita lähtötietoihin liittyviä kehitysehdotuksia on koordinaatistomuutosten ja aineiston rajaamisen mahdollistaminen ohjelmistossa. Käytännössä tämä tarkoittaisi työkalujen lisäämistä koordinaatistomuutoksiin ja aineiston rajaamiseen. Tämä nopeuttaisi aineistojen käsittelyä, kun sitä ei tarvitsisi tehdä toisessa ohjelmistossa ennen aineiston tuontia Quantmiin.

Optimointiin liittyen yhtenä kehityskohteena koettiin se, että pisteen lisäksi myös esimerkiksi viiva tai alue voisi toimia optimoinnin alku- ja loppukohtana. Optimointi tällä tavalla voisi kuitenkin kestää kauemmin, jonka takia tulisi tarkastella, onko se järkevä ratkaisu (Tuohilampi 2018). Kuitenkaan usean optimoinnin tekeminen eri pisteisiin ei merkittävästi lisännyt vaihtoehtojen etsimiseen kuluvaan aikaa, sillä optimointien tekeminen on nopeaa (H6). Tämän takia optimoinnin alku- ja loppupisteen kehittäminen ei välttämättä ole tärkein kehityskohde. Asia on kuitenkin hyvä tiedostaa ja tietää mahdollisena kehityskohteena tulevaisuudessa. Siihen asti voitaisiin tarvittaessa toisen tai molempien päätepisteiden optimaalisen sijainnin etsimiseen hyödyntää referenssikohteista ilmennyttä tapaa. Siinä parhaat sijainnit päätepisteille optimoitiin ennen varsinaista optimointia. Optimointi tehtiin rajaamalla maastomalli ainoastaan suunnittelussa tarvittavalle alueelle ja asettamalla optimoinnissa käytettävät päätepisteet riittävän kauaksi maastomallista. Optimaaliset sijainnit varsinaisessa optimoinnissa käytetyille päätepisteille arvioitiin sen perusteella, mistä suurin osa linjauksista kulkivat.

Liittymien optimointi voisi olla hyödyllinen toiminnallisuus ohjelmistoon (H4). Periaatteessa toiminnallisuus voisi olla hyvä lisä, sillä tämä voisi vähentää jatkosuunnittelun tarvetta varsinaisilla suunnitteluohjelmistoilla. Liittymien optimointi geometrian kanssa samanaikaisesti ei kuitenkaan välttämättä säästäisi suunnitteluun kuluvaan kokonaisaikaan. Todennäköisesti liittymien optimointi kasvattaisi optimointiin kuluvaan aikaa. Tämä taas voisi heikentää ohjelmiston hyödynnettävyyttä väylälinjausten optimointiin, ainakin jos optimointiin kuluvan aika pidentyisi merkittävästi.

Tiedonsiirron parantaminen koettiin haastatteluissa tärkeänä kehityskohteena. Trimble Quantmin olisi tärkeä olla osa muuta suunnittelujärjestelmää (H5; H6). Quantm ei saa

olla muita järjestelmiä hyödyntävä yksinäinen järjestelmä, sillä tätä asiantuntijatkin tekevät (H5). Väylälinjausten optimointiin soveltuvia ohjelmistoja vertailemalla huomattiin, että muissa ohjelmistoissa paitsi Quantmissa aineistoa pystytään hyödyntämään ilman uloskirjoittamista. Esimerkiksi linjauksen olisi hyvä olla siirrettävissä suoraan Quantmin ja suunnitteluohjelmiston välillä (H6). Tämän pitäisi olla mahdollista Trimblen Quantmin ja Quadrin välille kehittämän integraation jälkeen. Jatkosuunnittelun kannalta olisi myös hyvä, jos käytettävät lähtötiedot olisivat helposti hyödynnettävissä suunnitteluohjelmissa ilman aineistojen siirtämistä. Nämä toimenpiteet helpottaisivat tehtyjen suunnitelmien ja aineistojen hyödyntämistä jatkosuunnittelussa.

Tulevaisuudessa mallintamisen korostuessa Quantmin olisi hyvä pystyä hyödyntämään Inframodel-tiedostomuodon sisältämää tietoa. Mikäli tulevaisuudessa esimerkiksi olisi saatavissa tarkempaa maaperätietoa, ohjelman olisi hyvä osata lukea sitä. (H6) Tämän lisäksi voisi olla hyödyllistä, jos Quantm uloskirjoittaisi aineistoa Inframodel-formaatissa. Näin aineiston hyödyntäminen muissa ohjelmistoissa voisi olla helpompaa. Toisaalta Quadrin ja Quantmin integraation kehittyessä tälle ei välttämättä ole tulevaisuudessa tarvetta.

Vaihtoehtovertailusta ilmeni useita kehitysehdotuksia. Yksi näistä oli päästöjen lisääminen vaihtoehtovertailuun. Mikäli vaihtoehtovertailussa voitaisiin muiden seikkojen lisäksi vertailla päästöjä, ne pystyttäisiin huomioimaan aikaisessa vaiheessa ilman merkittävää ajan lisäystä. Trimblellä on jo kehityslistalla päästölaskuri, jonka avulla kaikkien vaihtoehtojen päästöt nähtäisiin ja niitä pystyttäisiin vertailemaan (H1). Toiminnallisuus siis saattaa tulla Quantmiin jollain aikajänteellä. Tämä olisi tärkeä ominaisuus myös Suomen markkinoita ajatellen, varsinkin tulevaisuudessa ympäristönäkökohtien korostuessa. Tulevaisuudessa voi myös olla muita seikkoja, joita halutaan tarkastella jo hankkeen alkuvaiheessa. Tällainen seikka voi olla esimerkiksi riskienhallinta. Riskienhallintaa tehdään jo nyt hankkeen eri vaiheissa, mutta sen merkitys mallintamisessa voi kasvaa tulevaisuudessa.

Quantmilla voidaan vertailla optimoituja vaihtoehtoja ja niiden kustannuksia keskenään. Mikäli Quantmiin on tuotu nykyinen väylä, voidaan se huomioida vaihtoehtojen vertailussa. Kuitenkaan nykyisen tien parantamista linjausta muuttamatta ei voida vertailussa huomioida. Tämä on huomioon otettava asia (H2). Periaatteessa voisi olla hyvä, jos nykyinen tie tai sen parantaminen voitaisiin huomioida vaihtoehtojen vertailussa. Näin kaikki vaihtoehdot nähtäisiin kerralla sekä kustannuksia ja tulevaisuudessa mahdollisesti muitakin seikkoja voitaisiin vertailla keskenään. Kuitenkin vaihtoehdoista tehdään joka tapauksessa tarkempaa vaihtoehtovertailua. Näin ollen tämä ei välttämättä toisi merkittävästi lisäarvoa ohjelmistolle, eikä näin ollen olisi kannattavaa.

Taulukossa 16 esitetään kaikki Trimble Quantmin kehitysehdotukset ja niiden kriittisyys. Kehitysehdotukset on jaettu pitkän ja lyhyen aikavälin toimenpiteisiin. Pitkän aikavälin toimenpiteet vaativat kehitystyötä, kun taas lyhyen aikavälin toimenpiteet sisältävät

ohjeistuksen ja asiakkaille jaettavan materiaalin lisäämistä ja parantamista. Taulukossa punaisella on merkitty kriittisimpiä, oranssilla toiseksi kriittisiä ja vihreillä vähiten kriittisiä kehityskohteita. Harmaat kuvastavat toimenpiteitä, jotka eivät vaadi kehitystä tai muutoksia.

Taulukko 16. Kaikki Trimble Quantmin pitkän ja lyhyen aikavälin toimenpidesuosituksukset sekä niiden kriittisyys. Punaisella on merkitty kriittisimpiä, oranssilla toiseksi kriittisiä ja vihreillä vähiten kriittisiä toimenpidesuosituksia. Harmaat kuvastavat toimenpiteitä, jotka eivät vaadi muutosta nykyisestä.

Kehityskohde	Pitkän aikavälin toimenpidesuositus	Lyhyen aikavälin toimenpidesuositus
Lähtötietojen hyödyntäminen	Kustannusten yhteensovittaminen kustannuslaskentajärjestelmän kanssa	Kustannusarvioiden tuottaminen asiantuntija-arvioiden pohjalta
	Suunnitteluparametrit ja poikkileikkaukset suoraan ohjelmistosta	Tuotetaan asiakkaille jaettava suunnitteluparametri- ja poikkileikkauksikirjasto
	Työkalu aineiston rajaamiseen	
	Työkalu koordinaattijärjestelmän muuttamiseen	
	Yhteensopivuus WMS tai WMTS ja WFS -rajapinnoille	Ohjeistetaan asiakkaita lähtöaineistojen hakemisessa ja tuonnissa. Mahdollisuuksien mukaan lähtötiedot haetaan avoimesta datasta.
Optimointi-työkalut	Liittymien optimointi samanaikaisesti väylälinjausten kanssa	
	Optimoinnin aluksi ja lopuksi voi valita pisteen lisäksi alueen tai olemassa olevan väylän	Ohjeistetaan optimoimaan päätepisteiden optimaaliset sijainnit erikseen ennen varsinaista optimointia, jos niitä ei tiedetä etukäteen
Tiedonsiirto	Mahdollisuus Inframodel-lukuun ja uloskirjoitukseen	
	Parannetaan yhteensopivuutta suunnittelujärjestelmiin	
Vaihtoehto-vertilu	Vertailumahdollisuuden lisääminen hiilidioksidipäästöille	
	Riskienarvioinnin lisääminen vaihtoehtovertiluun	
	Nykyisen väylän parantamisvaihtoehdon huomioiminen	

Quantmin tärkeimmät kehitysehdotukset koostuvat taulukossa 16 esitetyistä kriittisimmistä ja toiseksi kriittisimmistä toimenpidesuosituksista. Kriittiset kehitysehdotukset on tärkeää toteuttaa mahdollisimman nopealla aikataululla, jotta ohjelmiston hyödyntämismahdollisuudet Suomessa paranevat. Hyödynnettävyyden kannalta toiseksi kriittisimpiä kehitysehdotuksia ei tarvitse toteuttaa yhtä nopealla aikataululla.

Taulukosta 16 huomataan, ettei suurin osa toimenpidesuosituksista ole kriittisiä. Kriittisimpiä kehitysehdotuksia on 5 ja ne liittyvät lähtöaineistojen hyödyntämiseen, optimointityökaluihin ja tiedonsiirtoon. Suurin osa kriittisistä kehitysehdotuksista on lyhyen aikavälin toimenpidesuosituksia, jotka on mahdollista toteuttaa heti. Kriittisimpiä lyhyen aikavälin toimenpidesuosituksia ovat kustannusarvioiden tuottaminen asiantuntija-arvioiden pohjalta sekä lähtöaineistojen tuonnissa ja päätepisteiden optimoinnissa ohjeistaminen. Kriittisimpiä pitkän aikavälin toimenpidesuosituksia ovat kustannusten yhteensopittaminen kustannuslaskentajärjestelmän kanssa sekä yhteensopivuuden parantaminen suunnittelujärjestelmiin. Taulukosta huomataan, että suurin osa kriittisistä kehitysehdotuksista liittyy lähtötietojen hyödyntämiseen. Kaikkein kriittisimmät kehitysehdotukset liittyvät kustannuslaskelmien todenmukaistamiseen.

Toiseksi kriittisimpiä kehitysehdotuksia on 3 ja ne liittyvät lähtötietojen hyödyntämiseen sekä vaihtoehtovertailuun. Toiseksi kriittisimmistä kehitysehdotuksista 2 on pitkän aikavälin toimenpidesuosituksia, jotka vaativat ohjelmiston kehittämistä. Näitä ovat yhteensopivuuden lisääminen WMS tai WMTS ja WFS -rajapinnoille sekä vaihtoehtovertailuun vertailumahdollisuuden lisääminen hiilidioksidipäästöille. Lyhyen aikavälin toimenpiteenä on asiakkaille jaettavan suunnitteluparametri- ja poikkileikkauskirjaston tuottaminen.

6.3 Pohdintaa tulevaisuudennäkymistä

Tärkeimpien kehitysehdotusten toteuttamisen jälkeen Quantm soveltuu hyvin hyödynnettäväksi Suomeen. Kehityskohteiden toteuttamisen myötä kiinnostus ohjelmistoon voi kasvaa, kun sen avulla saavutettavat hyödyt korostuvat. Vaikka optimointiohjelmistoja ei vielä merkittävästi hyödynnetä suunnittelussa Suomessa, voi niiden käyttö tulevaisuudessa yleistyä suunnittelun osien automatisoinnin ja tietomallintamisen yleistymisen seurauksena. Optimointiohjelmistojen käytön yleistyessä suunnittelun luonne mahdollisesti muuttuu, kun varsinaisen vaihtoehtojen ja väylälinjausten suunnittelun sijaan analysoidaan ohjelmiston avulla saatuja vaihtoehtoja.

Tulevaisuudessa hankkeet, joissa suunnitellaan ja rakennetaan kokonaan uusi linjaus, tulevat todennäköisesti vähenemään. Sen sijaan väylien parantamishankkeita on todennäköisesti yhä enemmän. Näin ollen tulevaisuudessa voi olla enemmän tarvetta ohjelmistolle, jolla voidaan olemassa olevaa väylälinjausta parantaa. Tiehankkeet voivat vähentyä tulevaisuudessa ja ratahankkeita voidaan toteuttaa enemmän. Varsinkin tiehankkeet voivat myös yhä useammin sijaita entuudestaan rakennetussa maastossa. Quantmin

hyödyntämisen kannalta näillä seikoilla ei kuitenkaan pitäisi olla ainakaan suurta merkitystä. Quanmin käytöstä saatavat hyödyt korostuvat, kun lähtötietojen tuominen helpottuu. Näin ollen rajoitusten määrällä ei todennäköisesti enää ole merkittävää vaikutusta ohjelmiston hyödyntämismahdollisuuksiin hankkeessa. Quantmia todennäköisesti voidaan myös näissä tilanteissa hyödyntää, jos rajoituksista huolimatta suunnittelu on perinteisiä menetelmiä nopeampaa.

Tulevaisuudessa vaatimukset väylälinjausten optimointiohjelmistolle voivat muuttua. Esimerkiksi väylien parantamishankkeiden yleistyessä tähän soveltuvia työkaluja voitulla tarpeelliseksi kehittää (H6). Myös esimerkiksi tilaajan puolelta voi mahdollisesti tulla uusia tarpeita tai suunnitteluvaiheissa huomioon otettavia asioita, joiden takia ohjelmistoa tulee kehittää. Näitä tarpeita on mahdotonta tietää etukäteen, joten ne täytyy huomioida ohjelmiston kehityksessä sen ollessa ajankohtaista.

Tulevaisuudessa voi olla mahdollista, että Quantmin laskenta-algoritmit irrotetaan ohjelmistosta ja liitetään muihin suunnitteluohjelmistoihin omana toimintona. Trimble on tehnyt näin jo aikaisemmin Tekla Civilin kohdalla, kun hyväksi havaittu Parametrinen liittymä -toiminto liitettiin omana toimintonaan Trimble Novapointiin (Trimble 2018a). Tämän takia olisi mahdollista, että myös Quantmin toiminnoille tai osalle toiminnoista tehtäisiin tulevaisuudessa samalla tavalla. Suunnittelijoiden kannalta tämä voisi helpottaa suunnittelua, jos suunnitteluvaiheesta toiseen voitaisiin työskennellä samassa käyttöliittymässä. Toimenpide voisi myös lisätä optimointitoiminnallisuuksien käyttöä, jos ne olisivat osana suunnittelujärjestelmää ja käytettävissä ilman lisäkustannuksia. Kuitenkaan tämän toteutusaikataulusta ei ole tietoa. Myöskään ei edes voida tietää varmaksi, tullaanko tätä koskaan toteuttamaan.

7. YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

7.1 Johtopäätökset ja toimenpidesuosituks

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää Trimble Quantmin hyödynnettävyyttä teiden ja ratojen suunnitteluun Suomessa. Tätä selvitettiin päätutkimuskysymyksen ja sitä täydentävien alakysymysten avulla. Työn päätutkimuskysymyksenä oli:

- Miten Trimble Quantm soveltuu hyödynnettäväksi väylälinjausten suunnitteluun Suomessa?

Vastausta päätutkimuskysymykseen haettiin laadullisen tutkimuksen keinoin. Tutkimuksessa käytettiin menetelminä kirjallisuusselvitystä, haastattelututkimusta sekä case-tutkimusta. Lisäksi tutkimuksessa perehdyttiin useiden ohjelmistojen toimintaan itse kokeilemalla. Työssä ei ole yksittäistä lukua kirjallisuus- tai haastattelututkimuksen tulosten läpikäymiselle vaan nämä ja kirjoittajan oma ajatus keskustelevat läpi työn. Tutkimuksessa käsitellään ainoastaan maanteiden ja rautateiden suunnittelua, eikä huomioida muiden väylien suunnittelua. Maantieteellisesti tarkastellaan ainoastaan Suomea pois lukien referenssikohteet, joissa huomioidaan myös muut maat.

Ensimmäiseen alatutkimuskysymykseen ”Miten teiden ja ratojen suunnittelua tehdään Suomessa ja mitkä asiat siihen vaikuttavat?” haettiin vastausta luvussa 2. Teiden ja ratojen suunnittelua ja siihen vaikuttavia tekijöitä tutkittiin kirjallisuusselvityksen ja haastattelututkimuksen avulla. Kaikki suunnitteluun tutkimuksen perusteella tunnistetut tekijät vaikuttavat suunnitteluun eri tavoilla. Suunnitteluun vaikuttavat tekijät luovat yhdessä raamit, joiden sisällä suunnittelua tehdään. Tutkimuksen perusteella teiden ja ratojen suunnitteluun vaikuttavia tekijöitä ovat:

- Megatrendit
- Lait ja asetukset
- Suunnitteluvaihe
- Kustannushallinta
- Infran tietomallinnus
- Lähtötiedot
- Suunnitteluohjeet ja -parametrit.

Luvussa 3 perehdyttiin linjausten optimointiin soveltuviin ohjelmistoihin sekä vastattiin toiseen alatutkimuskysymykseen ”Onko olemassa muita ohjelmistoja väylälinjauksien suunnitteluun? Jos on, mitkä niiden eroavaisuudet ovat Quantmiin verrattuna?”. Tätä selvitettiin pääasiassa kirjallisuustutkimuksen avulla. Luvussa syvennettiin ensin Suomessa käytössä oleviin suunnitteluohjelmistoihin. Suunnitteluohjelmistoista perehdyttiin

Trimble Novapointiin, Tekla Civiliin sekä Bentley OpenRail ja OpenRoad Designeriin. Suunnitteluohjelmistoihin perehtymällä huomattiin, ettei niissä ole automatisoituja toimintoja väylälinjausten optimointiin.

Luvussa 3 perehdyttiin suunnitteluohjelmistojen jälkeen tarkemmin väylälinjausten suunnitteluun soveltuviin ohjelmistoihin, joita ovat Trimble Quantm, Autodesk InfraWorks ja Softree Optimal. Luvun lopuksi vertailtiin väylälinjausten optimointiin soveltuvia ohjelmistoja keskenään. Ohjelmistoja vertailemalla selvisi, että kaikki kolme ohjelmistoa ovat toiminnallisuuksiltaan hyvin samankaltaisia. Tästä huolimatta Autodesk InfraWorks ja Softree Optimal eivät tarjoa yhtä kattavia optimointeja kuin Trimble Quantm. Vertailuista ohjelmistoista Quantm oli ainoa, jolla voidaan optimoida useita vaihtoehtoja kerralla sekä optimoida automaattisin toiminnoin vaaka- ja pystygeometriaa samanaikaisesti. Tämä erottaa Quantmin muista ohjelmistoista tehden siitä ainoan tämän tyyppisen ohjelmiston markkinoilla.

Kolmanteen alatutkimuskysymykseen ”Millaisissa hankkeissa Quantmia on käytetty maailmalla ja millaisia lopputuloksia hankkeista on saatu?” vastattiin luvussa 4. Referenssikohteisiin perehdyttiin pääasiassa kirjallisuustutkimuksen avulla, mutta myös haastatteluiden perusteella saatiin niistä lisätietoja. Referenssikohteissa keskityttiin pohjoismaisiin kohteisiin, mutta myös muissa maissa toteutettuihin hankkeisiin tutustuttiin. Referenssikohteita tarkastelemalla huomattiin, että Quantmia on hyödynnetty eri pituisten tie- ja ratahankkeiden suunnittelussa kaikilla mantereilla Etelämannerta lukuun ottamatta. Tästä voidaan päätellä, että Quantm soveltuu hyödynnettäväksi hankkeissa ilmasto- ja pohjaolosuhteista riippumatta.

Referenssikohteiden pituudet vaihtelivat muutamista kilometreistä tuhansiin kilometreihin. Suurimmat hyödyt voidaan mahdollisesti saavuttaa pisimmissä hankkeissa, mutta referenssikohtien perusteella myös lyhyemmissä hankkeissa saavutetaan hyötyjä. Tarkastelluista pohjoismaisista hankkeista 3 olivat maksimissaan 10 kilometriä pitkiä. Näissä hankkeissa on saavutettu positiivisia tuloksia Quantmin käytöllä. Referenssikohteissa on Quantmin avulla vähennetty suunnitteluun kuluva aikaa. Referenssikohteissa Quantmin hyödyntämisen etuna on nähty myös ympäristön huomioiminen sekä Quantmin tarjoamat kattavat perustelut vaihtoehtoille. Referenssikohteiden perusteella Quantmissa on potentiaalia kustannusten minimoimiseen.

Päätutkimuskysymykseen haettiin vastausta luvuissa 5 ja 6. Luvussa 5 toteutettiin case-tutkimus, jossa tutkittiin Trimble Quantmin hyödynnettävyyttä Suomessa. Case-tutkimus toteutettiin valtatie 7 Haminan ja Vaalimaan välisestä tieosuudesta. Case-tutkimuksessa toteutettiin optimointi yhteysvälille ja vertailtiin saatuja tuloksia vuonna 2010 tehdyn yleissuunnitelman vaihtoehtoihin. Optimoinnin suoritti diplomityöntekijä syksyllä 2018.

Optimoinnin lähtöaineistoina käytettiin pääasiassa avoimesta datasta saatuja aineistoja. Optimoinnista saadut tulokset olivat vaakageometrian osalta hyvin samankaltaisia

yleissuunnitelman vaihtoehtojen kanssa. Näin ollen Quantm voisi sopia hyödynnettäväksi vastaavanlaisiin hankkeisiin. Joitakin eroavaisuuksia saaduissa vaihtoehtoisissa oli yleissuunnitelman vaihtoehtoihin verrattuna. Suurin osa eroavaisuuksia kuitenkin selittyi erilaisilla lähtötiedoilla sekä sillä, että Quantm lähtökohtaisesti kiertää vältettäväksi merkityt ja suuria kustannuksia aiheuttavat alueet. Yleissuunnitelman päävaihtoehtoa vertailemalla Trimble Quantmista saatuun vastaavaan vaihtoehtoon huomattiin, että Trimble Quantmin linjaus oli yleissuunnitelman vaihtoehtoa lyhyempi. Molemmissa vaihtoehtoisissa oli yhtä suuri määrä vesistöjä ylittäviä siltoja.

Case-tutkimuksesta saatiin samankaltaisia tuloksia kuin mitä referenssikohteista oli saatu. Optimoinnit tapahtuivat Quantmilla nopeasti ja sitä käyttämällä suunnitteluun kuluva aikaa voitaisiin vähentää. Case-tutkimuksessa lisäksi huomattiin, että avoimesta datasta saatava tieto on hyvin hyödynnettävissä Quantmissa. Avoimesta datasta saatavia tietoja hyödyntämällä Quantmilla suunnitteluun kuluva aikaa voidaan vähentää. Kaikkia tarvittavia lähtötietoja ei välttämättä ole saatavilla avoimesta datasta, mutta avoimen datan aineistot luovat hyvän perustan käytettävälle lähtöaineistoille. Näitä tietoja voidaan tarvittaessa tarkentaa muualta saaduilla tiedoilla.

Luvussa 6 vastattiin neljänteen alatutkimuskysymykseen ”Miten Quantm soveltuu suunnitteluun nykytilassa ja mitkä ovat sen tärkeimmät kehityskohteet?” ja arvioitiin Trimble Quantmin hyödyntämismahdollisuuksia Suomessa. Quantm soveltuu nykytilassa osittain hyödynnettäväksi suunnitteluun Suomessa. Quantmin suurimpana hyötynä on sen nopea vaihtoehtovertailu. Tämän avulla Quantmilla pystytään nopeasti vertailemaan useita vaihtoehtoja. Quantmia hyödyntämällä voidaan myös löytää ratkaisuita, joita ei perinteisin suunnittelukeinoin löydetäisi. Quantm soveltuu parhaiten esi-, yleis- ja tie- tai rata-suunnitteluvaiheisiin. Quantmin potentiaalisia hyödyntämiskohteita Suomessa on:

- Maastokäytävävaihtoehtojen etsintä
- Linjausten hakeminen maastokäytävän sisältä
- Toteuttamiskelpoisten linjausten arviointi
- Suunnittelun aikainen vaihtoehtojen arviointi ja hienosäätäminen, esimerkiksi pelkän pystygeometrian optimoiminen
- Olemassa olevan väylän parantaminen.

Kehitystoimenpiteillä voidaan Quantmin hyödyntämismahdollisuuksia Suomessa parantaa. Kehityskohteita saatiin pilottiprojektin tulosten, haastatteluiden ja omien kokemusten perusteella. Kaikki tutkimuksen tuloksena saadut kehitysehdotukset kerättiin taulukkoon 16, johon merkittiin niiden kriittisyys. Kriittisyyden perusteella löydettiin tärkeimmät kehityskohteet. Tärkeimmät kehityskohteet liittyvät lähtötietojen hyödyntämiseen, optimointityökalujen kehittämiseen, tiedonsiirron parantamiseen sekä vaihtoehtovertailun kehittämiseen. Tärkeimpiä kehitysehdotuksia on 8 ja ne ovat tärkeysjärjestyksessä ilmaistuna seuraavat:

1. Kustannusten yhteensovittaminen Ihku-allianssin kehittämän kustannuslaskenta-järjestelmän kanssa
2. Quantmin kustannusarvioissa hyödynnettävien kustannusparametrien tuottami-nen asiantuntija-arvioiden perusteella
3. Yhteensopivuuden parantaminen suunnittelujärjestelmiin
4. Lähtöaineistojen hakemisessa ja tuonnissa ohjeistaminen, jotta ne tuodaan ohjel-mistoon sopivissa formaateissa
5. Päätepisteiden sijaintien optimoinnissa ohjeistaminen tilanteissa, joissa niitä ei etukäteen tiedetä
6. Yhteensopivuus WMS tai WMTS ja WFS -rajapinnoille
7. Vaihtoehtovertailuun vertailumahdollisuuden lisääminen hiilidioksidipäästöille
8. Asiakkaille jaettavan suunnitteluparametri- ja poikkileikkauskirjaston tuottami-nen

Nykyisellään väylälinjauksien optimointiin soveltuvia toimintoja käytetään vähän, vaikka niiden hyödyntäminen voisi vähentää suunnitteluun kuluva-aikaa ja näin tehostaa suunnittelua. Optimointityökalujen käytöstä hyötyvät niin tilaaja kuin suunnittelua tekevä suunnittelutoimistokin. Tilaaja hyötyy erityisesti, mikäli väylähankkeiden kustannukset pienenevät. Hyötyjä saadaan myös ohjelmiston takaamista riittävästä ja kattavista perus-teluista. Suunnittelutoimisto hyötyy suunnitteluun käytettävän ajan pienenemisellä, joka tuo kilpailuedun muihin yrityksiin verrattuna. Optimointiohjelmistoa hyödynnettäessä voidaan myös löytää vaihtoehtoja, joita muuten ei löydetäisi.

Tulevaisuudessa suunnittelun osien automatisoinnin ja tietomallintamisen yleistymisen seurauksena väylälinjausten optimointiohjelmistojen käyttö voi kasvaa. Optimointiohjel-mistojen käytön yleistyessä suunnittelun luonne voi muuttua, kun varsinaisen vaihtoehtojen ja väylälinjausten suunnittelun sijaan analysoidaan ohjelmiston avulla saatuja vaih-toehtoja.

7.2 Tutkimuksen arviointi

Tutkimuksessa selvitettiin vastauksia tutkimuskysymyksiin laadullisin tutkimusmenetel-min. Laadullisen tutkimuksen onnistumista voidaan arvioida esimerkiksi luotettavuuden, aineiston keruun ja tutkimuksen tiedonantajien perusteella (Tuomi & Sarajärvi 2018). Laadullisen tutkimuksen luotettavuutta voidaan arvioida tutkimustulosten toistettavuudella sekä tavoitteeseen ja tutkimuskysymyksiin vastaamisella (Järvenpää 2006). Tutki-musmenetelmät pyrittiin dokumentoimaan sellaisella tarkkuudella, että tutkimus olisi toistettavissa. Tutkimuksessa täytettiin asetettu tavoite sekä kaikkiin esitettyihin tutki-muskysymyksiin saatiin kattavat vastaukset.

Haastateltavien määrä oli pieni, sillä haastateltuja henkilöitä on yhteensä 6. Haastatelta-vien pieni määrä oli kuitenkin seurausta siitä, että haastateltavia oli vaikea löytää. Pyynn-töjä haastatteluihin lähetettiin useita. Haastateltaviksi pyydytyistä henkilöistä osa ei

kuitenkaan vastannut tai he kieltäytyivät haastattelusta. Kieltävissä vastauksissa korostui se, etteivät haastattelevaksi pyydetty omasta mielestään tienneet Trimble Quantmista riittävästi, jotta voisivat osallistua haastatteluun. Tilanteesta teki hankalan se, ettei ohjelmisto ole ollut pilottiprojektia lukuun ottamatta käytössä Suomessa. Loppujen lopuksi haastateltavat koostuivatkin pääasiassa pilottiprojektissa mukana olleista henkilöistä. Tämä voi tietyllä tapaa vääristää tuloksia.

Haastattelujen tuloksia tarkasteltaessa tulee huomioda, että ne edustavat ainoastaan haastateltuja henkilöitä eikä niitä näin ollen voi yleistää. Toisaalta laadullisessa tutkimuksessa ei edes pyritä tilastollisiin yleistyksiin vaan tärkeintä on saada selville mahdollisimman paljon tutkittavasta asiasta. Tässä haastattelujen avulla onnistuttiin.

Case-tutkimuksessa tarkkuutta olisi voitu parantaa. Case-tutkimuksessa epätarkkuutta lisäsi se, ettei päätepisteiden sijaintia tiedetty tarkasti. Mikäli päätepisteiden sijainti olisi tiedetty, olisi se tarkentanut optimoinnin tuloksia ja helpottanut saatujen tuloksien vertailua yleissuunnitelman vaihtoehtoihin. Myös pakkopisteiden käytöllä olisi voitu helpottaa tulosten vertailua yleissuunnitelman vaihtoehtoihin. Kuitenkin tarkoituksena oli mahdollisimman vähän optimoinnin tuloksia ohjaamalla selvittää, kuinka samankaltaisia tuloksia yleissuunnitelmaan verrattuna saavutetaan. Näin ollen pakkopisteiden käyttö olisi väärentänyt tuloksia.

Tutkimuksen kannalta olisi voinut olla hyödyllisempää testata case-tutkimuksen avulla ohjelmiston käytön soveltumista nykyisen väylän parantamishankkeeseen tai lyhyen väylän optimoimiseen. Tämä kuitenkin huomattiin vasta optimoinnin toteuttamisen jälkeen. Optimoinnin tavoitteena oli selvittää ohjelmiston käytön soveltumista Suomeen sekä sitä, olisiko lähtötietojen tuontia mahdollista helpottaa avoimesta datasta saatujen aineistojen avulla. Näin ollen valittu kohde vastasi näihin tavoitteisiin.

Tieteellisessä tutkimuksessa voidaan periaatteessa nähdä heikkoutena internet-lähteiden käyttö. Kuitenkin näistä lähteistä saatiin tutkimuksen kannalta paljon arvokasta tietoa, jota ei muita lähteitä käyttämällä olisi saatu. Yhtenä heikkoutena tutkimuksessa voidaan lisäksi nähdä tutkimuksen toteuttaminen ainoastaan laadullisia menetelmiä hyödyntämällä. Kuitenkaan määrällisiä menetelmiä olisi ollut vaikea hyödyntää niin, että niillä olisi tuotettu tavoitetta tai tutkimuskysymyksiä vastaavaa tietoa.

Tutkimuksessa saatiin paljon uutta tietoa väylälinjausten optimointiohjelmistoista ja niiden hyödyntämisestä. Vastaavaa tutkimusta ei ole vielä toteutettu Suomessa. Muissa maissa Quantmin hyödyntämistä on tutkittu, mutta se on tehty hankekohtaisesti eikä niinkään maakohtaisesti. Erityisesti Civilpoint Oy:lle voi tutkimuksesta ja sen tuloksista olla hyötyä. Kuitenkin tutkimuksesta voi olla tieteellisestä arvoa myös muille tahoille etenkin väylälinjausten optimointiohjelmistojen hyödyntämismahdollisuuksiin sekä teiden ja ratojen suunnitteluun ja niihin vaikuttaviin tekijöihin liittyen.

7.3 Jatkotutkimusehdotukset

Jatkotutkimustarpeet liittyvät pitkälti Trimble Quantmiin ja sen ominaisuuksien kehittämiseen. Jatkotutkimuksen avulla olisi hyvä selvittää Quantmin soveltumista nykyisen väylän parannushankkeeseen. Tämän avulla pystyttäisiin selvittämään, millaisilla työkaluilla toimintoa pitäisi kehittää, jotta se soveltuisi paremmin parantamishankkeisiin. Tässä työssä ei otettu aiheeseen kantaa, sillä Quantmin hyödyntämisestä parannushankkeissa on vielä vähän kokemuksia.

Quantmin kustannusten yhteensovittamista Ihku-allianssin kehittämän kustannuslaskentajärjestelmän kanssa olisi hyvä selvittää. Tämän tutkimuksen rajoissa sitä ei toteutettu tutkimuksen laajuuden vuoksi. Ihku-allianssi laskentaperiaate voi myöskin vielä muuttua ja kehittyä, jonka takia sitä ei vielä tässä vaiheessa olisi ollut välttämättä kannattavaa tehdä. Tulevaisuuden kannalta kuitenkin olisi tärkeä selvittää, miten on mahdollista järjestelmien kesken yhteensovittaa ja mitä kehitystä se vaatii.

Lisäksi etenkin alun suunnitteluvaiheiden tehostamisen mahdollisuuksia olisi hyvä tutkia lisää. Alun suunnitteluvaiheissa voi olla muitakin potentiaalisia tehostamiskohteita. Tutkimuksen avulla olisi hyvä selvittää, mitä nämä kohdat ovat ja miten niitä olisi mahdollista tehostaa.

LÄHTEET

HAASTATTELUT

H1. Magnus Hedly. Technical Sales Engineer, Trimble. 28.9.2018

H2. Jenna Johansson. Apulaisjohtaja, Väylävirasto. Helsinki. 3.7.2018

H3. Bill Lazaris. Principal Engineering Construction Advisor, Trimble. 28.9.2018

H4. Sami Mankonen. Projektipäällikkö, Uudenmaan ELY-keskus. Helsinki. 3.7.2018

H5. Emil Matintupa. Yksikönpäällikkö, Ramboll Finland Oy. Espoo. 18.6.2018

H6. Teemu Tuohilampi. Suunnittelija, Ramboll Finland Oy. 31.8.2018

PAINETUT LÄHTEET

Ahtiainen A., Lajunen, S., Luntinen, M., Ryynänen M. & Hämäläinen M.K. (2011). Tie- ja ratahankkeiden suunnitelmien käsittelyohje - Suunnitteluvaiheen ohjaus. Liikennevirasto. Helsinki, vol. 25, s. 8-10.

Aho E., Lyly L. & Mero I. (2017) Liikenne- ja viestintäarkkitehtuuri 2030 ja 2050 - Selvityshenkilöiden loppuraportti. Liikenne- ja viestintäministeriö, vol. 7, s. 5.

Alasuutari, P. (2007). Mitä on laadullinen tutkimus? Tampereen yliopisto.

Autodesk. (2019a). About Optimizing the Design of Roads, website. Available (retrieved on 22.3.2019): <https://knowledge.autodesk.com/support/infraworks/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/ENU/InfraWorks-RoadsandHighways/files/GUID-4CDA03BB-E75F-463D-B925-0B35554B4C83-htm.html>

Autodesk. (2019b). To optimize a road corridor (preview), website. Available (retrieved on 22.3.2019): <https://knowledge.autodesk.com/support/infraworks/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/ENU/InfraWorks-RoadsandHighways/files/GUID-E8F9C05D-6AC6-4662-80AF-5E190DC58E67-htm.html>

Autodesk. (2019c). To optimize a vertical profile, website. Available (retrieved on 23.3.2019): <https://knowledge.autodesk.com/support/infraworks/learn->

explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/ENU/InfraWorks-RoadsandHighways/files/GUID-3187F97E-6654-4D04-B919-8CC7B450D120-htm.html

Bradley, A., Li, H., Lark, R. & Dunn, S. (2016). BIM for infrastructure: An overall review and constructor perspective. *Automation in Construction*, vol. 71, p. 147.

Bentley. (2019a). OpenRail Designer, website. Available (retrieved on 24.3.2019): <https://www.bentley.com/en/products/product-line/civil-design-software/openrail-designer>

Bentley. (2019b). OpenRoads Designer, website. Available (retrieved on 24.3.2019): <https://www.bentley.com/en/products/product-line/civil-design-software/openroads-designer>

buildingSMART Finland. (2019). Inframodel 4 käyttöohje, s. 1. Saatavissa (viitattu 11.5.2019): https://buildingsmart.fi/wp-content/uploads/2019/04/bSF_Infra_Inframodel4_kayttoohje_01042019.pdf

Civilpoint. (2017). Tuote-esite. Espoo, s. 4.

Civilpoint. (2018a). Trimble Novapoint 21 Railway, ohje. Espoo, s. 5-6.

Civilpoint. (2018b). Trimble Novapoint 21 Road Professional, ohje. Espoo, s. 5-6.

Civilpoint. (2019a). Infracworks, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 11.1.2019): <https://civilpoint.fi/ohjelmistot/autodesk/infracworks/>

Civilpoint. (2019b). Ihku-allianssi siirtyi toteutusvaiheeseen, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 5.4.2019): <https://civilpoint.fi/2019/02/ihku-allianssi-siirtyi-toteutusvaiheeseen/>

Civilpoint. (2019c). Novapoint Base, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 11.1.2019): <https://civilpoint.fi/ohjelmistot/trimble/novapoint/novapoint-base/>

Civilpoint. (2019d). Novapoint Road Professional, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 11.1.2019): <https://civilpoint.fi/ohjelmistot/trimble/novapoint/novapoint-road-professional/>

Civilpoint. (2019e). Trimble Quadri, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 2.5.2019): <https://civilpoint.fi/ohjelmistot/trimble/quadri/>

Costin, A., Adibfar, A., Hu, H. & Chen, S. (2018). Building Information Modeling (BIM) for transportation infrastructure – Literature review, applications, challenges, and recommendations. *Automation in Construction*, vol. 94, p. 261-266.

Eriksson, P. & Koistinen, K. (2005). Monenlainen tapaustutkimus. Kuluttajatutkimuskeskus, Helsinki, vol. 4, s. 34.

Fonecta. (2018). Suomen kartta. Saatavissa (viitattu 23.8.2018): <https://www.fonecta.fi/kartat?lon=27.4163818359375&lat=60.668806205888785&z=11>

Future CAD. (2018). Autodesk InfraWorks perusteet. Helsinki, s. 5, 9, 37-46, 50 & 56.

Gispo. (2018). Avoimen datan WMS- ja WFS-karttapalveluiden osoitteita, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 17.12.2018): <https://gispohelp.zendesk.com/hc/fi/articles/208159815-Avoimen-datan-WMS-ja-WFS-karttapalveluiden-osoitteita>

Heilä, S. (2017). Digitalisaatio etenee mallinnuksesta ja koneohjauksesta infran koko elinkaaren hallintaan. Rakennusinsinöörit ja -arkkitehdit RIA ry, Helsinki, vol. 3, s. 31 & 32.

Helsingin kaupunki. (2018). Työohje – Wfs-kohteiden haku, s. 3.

Helsinki Region Infoshare. (2017a). Mitä on avoin data?, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 17.12.2018): <https://hri.fi/fi/ohjeet/mita-on-avoin-data/>

Helsinki Region Infoshare. (2017b). Tiedosto vai rajapinta?, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 17.12.2018): <https://hri.fi/fi/ohjeet/datan-avaajalle/tiedosto-vai-rajapinta/>

Hyvärinen, M., Nikander, P. & Ruusuvuori, J. (2017). Tutkimushaastattelun käsikirja, Tampere.

Ihku-allianssi. (2019). Etusivu, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 5.4.2019): <https://ihkuallianssi.fi/>

Ihku-allianssi. (2018). Infrahankkeiden kustannuslaskentajärjestelmä- ja palveluallianssi – Hankesuunnitelma. Helsinki, s. 8-12.

Innamaa, S., Kanner, H., Rämä, P. & Virtanen, A. (2015). Automaation lisääntymisen vaikutukset tieliikenteessä. Trafi, vol. 1, s. 65.

Janhunen, N., Pienimäki, M. & Parantala, S. (2015). Yleiset inframallivaatimukset, Inframalli ja mallinnus hankkeen eri suunnitteluvaiheissa. buildingSMART Finland, vol. 4, s. 12, 13 & 15.

Järvenpää, E. (2006). Laadullinen tutkimus, Powerpoint esitys. Teknillinen korkeakoulu, Helsinki.

Kamardeen, I. (2010). 8D BIM Modelling Tool For Accident Prevention Through Design. Australia, p. 284.

Kiiski Kataja, E. (2016). Megatrendit 2016 – Tulevaisuus tapahtuu nyt. Sitra, s. 9, 10, 22 & 23. Saatavissa (viitattu 1.5.2019): http://www.sitra.fi/julkaisut/Muut/Megatrendit_2016.pdf

Kylmälä, A. (2015). Tietomallien hyödyntäminen tien yleissuunnittelussa. Aalto-yliopisto, Insinööritieteiden korkeakoulu, Espoo, s. 79.

Laki ympäristövaikutusten arviointimenettelystä 252/2017.

Liikennevirasto. (2010). Yleissuunnittelu toimintaohjeet - Tiesuunnittelun toimintajärjestelmä. Helsinki, vol. 19, s. 6, 12-15.

Liikennevirasto. (2011). Fore-palvelu väylähankkeiden kustannushallinnassa, versio 1.0. Helsinki, vol. 26, s. 8-12.

Liikennevirasto. (2013a). Tien poikkileikkauksen suunnittelu. Helsinki, vol. 29, s. 9-34.

Liikennevirasto. (2013b). Tien rakennussuunnitelma – Sisältö ja esitystapa. Helsinki, vol. 44, s. 11-12.

Liikennevirasto. (2013c). Tien suuntauksen suunnittelu. Helsinki, vol. 30, s. 30, 33, 34, 36, 39, 41, 42, 45 & 46.

Liikennevirasto. (2013d). Väylähankkeiden kustannushallinta. Helsinki, vol. 46, s. 9, 22, 24, 29 & 34.

Liikennevirasto. (2015a). Digiroad-aineistojen hyödyntäminen rajapintapalveluiden kautta - QuantmGIS, s. 1. Saatavissa (viitattu 5.11.2018): https://vayla.fi/documents/20473/184083/DR_rajapinnat_Qgis.pdf/18b5dbb7-cd52-4164-99fd-a67bc665a7a7

Liikennevirasto. (2015b). Rautateiden tulevaisuuden henkilöliikenneselvitys – Päivitys 2014. Helsinki, s. 8-10.

Liikennevirasto. (2016). Mikä on tietomalli?, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 8.4.2019): <https://vayla.fi/palveluntuottajat/inframallit/mika-on-tietomalli-#.XKueoKRS-Uk>

Liikennevirasto. (2017). Tie- ja ratahankkeiden inframalliohje. Helsinki, vol. 12, s. 9 & 27-29.

Liikennevirasto. (2018). Infrahankkeiden rakentamisen ja materiaalien CO2-päästöjen raportointi- ja ohjauskeinojen kartoitus. Helsinki, vol. 64. S. 24 & 25.

Maankäyttö- ja rakennuslaki 1999/132.

Maantielaki 2005/503.

Niskanen, J. (2015). Yleiset inframallivaatimukset 2015, Tietomallipohjainen hanke. buildingSMART Finland, vol. 1, s. 15.

Olsson, M. (2013). Usability of computer optimizing program for road alignment in the planning process – A case study of road 56. Göteborg, p. 10, 25-26 & 42-50.

Pirhonen, I. (2019). Tulevaisuudessa suunnitellaan algoritmien ja keinoälyn avulla, artikkeli. A-insinöörit. Saatavissa (viitattu 2.5.2019): <https://www.ains.fi/blogit/tulevaisuudessa-suunnitellaan-algoritmien-ja-keinoalyn-avulla/>

Priha, U., Huhtala, A., Toivonen, S., Rajala, P., Broman, I., Jarmala, L. & Urmas, V. (2006). Maantiet kaavoituksessa – Suunnittelu- ja toteuttamisvaiheen ohjaus, ohje. Tiehallinto, Helsinki, s. 13-19, 21-23, 26-29, 40-42 & 65.

Rail Analysis India. (2018). An Exclusive Interview with Mr. Kaushik Chakraborty, Vice President and Regional Executive, South Asia, Bentley Systems on their BIM expertise in Rail and Metro Sector, article. Available (retrieved on 23.3.2019): <http://railanalysis.in/interviews/exclusive-interview-mr-kaushik-chakraborty-vice-president-regional-executive-south-asia-bentley-systems-bim-expertise-rail-metro-sector/>

Ratahallintokeskus. (2008). Radan suunnitteluohje. Ratahallintokeskuksen julkaisuja, Helsinki, vol. 20, s. 7-10 & 19.

Ratalaki 2007/110.

Softree. (2017). Softree Optimal - Version 8, tutorial.

Softree. (2019a). Softree Optimal – Consistently better design, website. Available (retrieved on 24.3.2019): <http://www.softree.com/products/optimization>

Softree. (2019b). Softree Optimal – Earthwork optimization software, tutorial.

Speirs, G. (2019). Rethinking Road Planning and Design Workflows: Unlocking the Potential of LIDAR, Softree Technical Systems. Saatavissa (viitattu 12.4.2019): http://www.softree.com/download_file/view/207/230

Strafaci, A. (2014). What does BIM mean for civil engineers?, article. Available (retrieved on 5.4.2019): <https://cseengineermag.com/article/what-does-bim-mean-for-civil-engineers/>

Tekla. (2019). Tekla Civil - Tietomallintaa maailmasi, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 22.3.2019): <https://www.tekla.com/fi/tuotteet/tekla-civil>

Tiehallinto. (2009a). Tienpidon toimenpiteiden esiselvitysopas - Suunnitteluvaiheen ohjaus. Helsinki, s. 10-15.

Tiehallinto. (2009b). Valtatien 7 parantaminen moottoritieksi välillä Hamina – Vaalimaa - Yleissuunnitelma. Kouvola, 83 s.

Trimble. (2017). Quantm Software – User Guide.

Trimble. (2018a). Intersection Task in Novapoint Base, article. Available (retrieved on 17.4.2019): http://help.novapoint.com/doku.php?id=en:np:road:intersection-task_in_novapoint:start

Trimble. (2018b). Nye Veier – explores new ways on E18, article. Available (retrieved on 29.10.2018): <https://www.novapoint.com/nye-veier-explores-new-ways-e18>

Trimble. (2018c). Optimal Road Alignment – Best possible road project, article. Available (retrieved on 5.10.2018): <https://construction.trimble.com/customer-stories/optimal-road-alignment-best-possible-road-project>

Trimble. (2018d). Quantm Desktop V8 Training, s. 5-6.

Trimble. (2018e). The Planning Process, website. Available (retrieved on 2.11.2018): <https://www.trimble.com/Alignment/Planning-Process.aspx>

Trimble. (2019a). COWI Makes Use of New Tool to Find Optimal Localization of New Road, article. Available (retrieved on 16.3.2019): <http://construction.trimble.com/customer-stories/cowi-makes-use-new-tool-find-optimal-localization-new-road>

Trimble. (2019b). Quantm Benefits, website. Available (retrieved on 6.4.2019): <https://www.trimble.com/Alignment/Quantm-Benefits.aspx>

Tuohilampi, T. (2018). Trimble Quantm -optimoinnin hyödyntäminen väylien linjaus-tarkasteluissa, loppuraportti, s. 5-19 & 49.

Tuomi, J. & Sarajärvi, A. (2017). Laadullinen tutkimus ja sisältöanalyysi. Helsinki.

Tuominen, L. (2018). Tietomallintamisen hyödyntäminen infrahankkeiden riskienhallinnassa, opinnäytetyö. Liikennevirasto, Helsinki, vol. 2, 82 s.

Vilkka, H. (2015). Tutki ja kehitä. Hämeenlinna.

Väylä. (2019a). Digitalisaatiohanke, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 8.4.2019): <https://vayla.fi/hankkeet/digitalisaatiohanke#.XKuRGKRS-Uk>

Väylä. (2019b). E18 Hamina – Vaalimaa, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 2.4.2019): <https://vayla.fi/e18vaalimaa#.XKOC2KRS-Uk>

Väylä. (2019c). Hankkeiden suunnittelun vaiheet, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 4.4.2019): <https://vayla.fi/hankkeiden-suunnittelu/hankkeiden-suunnittelun-vaiheet#.XKYfnKRS-Uk>

Väylä. (2019d). Suunnittelun lähtökohdat, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 4.4.2019): <https://vayla.fi/hankkeiden-suunnittelu/suunnittelun-lahtokohdat#.XKXjUKRS-Uk>

Wihlman, K. (2018). Millaisella väyläverkolla kuljetat vuonna 2019? Väylänpidon rahoitusnäkymät, Powerpoint esitys, s. 3 & 6.

WSP Finland Oy. (2017). Liikenteen infrastruktuuri tulevaisuuden mahdollistajana, Powerpoint esitys.

LIITE A: HAASTATTELURUNKO

Hankeprosessi ja väylähankkeet Suomessa

- Hankeprosessin kulku ja vaiheet
- Tärkeimmät tavoitteet hankkeen eri vaiheissa
- Tie- ja ratahankeprosessin eroavaisuudet
- Väylähankkeille ominaisia piirteitä
- Tulevaisuuden näkymät

Suunnittelu perinteisin menetelmin

- Suunnittelun tekotavat
- Ohjelmistojen hyödyntäminen
- Lähtötiedot
- Aineiston hyödyntäminen jatkosuunnittelussa

Väylälinjausten optimointiin soveltuvat ohjelmistot

- Tarve ohjelmistolle
- Tärkeimmät ominaisuudet ohjelmistolle
- Trimble Quantm
 - Hyvät puolet
 - Soveltuvat hankkeet ja suunnitteluvaiheet
 - Referenssikohteet
 - Tärkeimmät kehityskohteet
 - Tulevaisuuden vaatimukset
 - Oma arvio soveltumisesta Suomeen
- Muut ohjelmistot

Ehdotukset aineistoksi ja haastateltaviksi

LIITE B: AVOIMESTA DATASTA SAATAVILLA OLEVIA LÄHTÖ-TIETOJA

Geologian tutkimuskeskus (GTK)

Mitä aineistoja tarjoaa?

Pohjatutkimukset sekä kallioperään ja maaperään liittyvät tiedot kuten kallioperä- ja maaperäkartat.

Miten aineistoja saa käyttöön?

Hakku-palvelusta: <https://hakku.gtk.fi/fi/locations/search>

Rajapintapalvelusta: <http://www.gtk.fi/tietopalvelut/rajapintapalvelut/>

Missä muodossa aineistot ovat saatavilla?

Rajapintapalveluissa on saatavilla WMS ja WFS-rajapinnat, Hakku-palvelusta voi ladata Mapinfo TAB tai GDB -formaateissa.

Maanmittauslaitos (MML)

Mitä aineistoja tarjoaa?

Kiinteistörajat, korkeusmalli, laserkeilausaineisto, taajama-alueet, tiestö.

Miten aineistoja saa käyttöön?

Avoimien aineistojen tiedostopalvelun kautta: <https://tiedostopalvelu.maanmittauslaitos.fi/tp/kartta>

Missä muodossa aineistot ovat saatavilla?

Riippuu aineistosta. Korkeusmalli ASCII Grid ja GETIFF -tiedostomuodoissa, laserkeilausaineisto LAZ-tiedostomuodossa, tiestö ja kiinteistörajat Esri Shapefile-muodossa, ortoilmakuvat JPEG2000-tiedostomuodossa. Tiedostot ovat saatavilla valitulta alueelta, mutta rajausta ei voi määrittää itse.

Museovirasto

Mitä aineistoja tarjoaa?

Suojellut kohteet.

Mistä aineistoja saa käyttöön?

Kulttuuriympäristön paikkatietoaineistoista: <https://www.museovirasto.fi/fi/palvelut-ja-ohjeet/tietojarjestelmat/kulttuuriympariston-tietojarjestelmat/kulttuuriympaeristoen-paikkatietoaineistot>

Missä muodossa aineistot ovat saatavilla?

Tiedostoina koko Suomen alueelta (tiedostomuotoina esimerkiksi Esri Shapefile).

Suomen ympäristökeskus (SYKE)

Mitä aineistoja tarjoaa?

Asuinalueet, CORINE maanpeiteaineistot, luonnonsuojelualueet, luonnonsuojelulain mukaiset maisemanhoitoalueet, luonnonsuojeluohjelma-alueet, Natura 2000 -alueet, pohjavesialueet, taajamat, valtakunnallisesti merkittävät kallioalueet, kivikot, moreenimuodostumat ja tuuli- ja rantakerrostumat sekä Ranta10 mukaiset joet, järvet ja uomaverkostot.

Mistä aineistoja saa käyttöön?

Ladattavista paikkatietoaineistoista: https://www.syke.fi/fi-FI/Avoim_tieto/Paikkatieto-aineistot

Latauspalvelua LAPIOsta: <http://paikkatieto.ymparisto.fi/lapio/latauspalvelu.html>

SYKEN avoimista rajapinnoista: https://www.syke.fi/fi-FI/Avoim_tieto/Avoimet_rajapinnat

Missä muodossa aineistot ovat saatavilla?

Avoimista rajapinnoista on saatavilla WMS ja WFS -rajapinnat, ladattavista paikkatietoaineistoista tiedostoina koko Suomen alueelta (tiedostomuotoina pääasiassa Esri Shapefile) tai LAPIOn kautta aineiston voi ladata itse valitulta ja rajatulta alueelta.